

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Protection against lightning –
Part 2: Risk management**

**Protection contre la foudre –
Partie 2: Evaluation des risques**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 62305-2

Edition 2.0 2010-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Protection against lightning –
Part 2: Risk management**

**Protection contre la foudre –
Partie 2: Evaluation des risques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XC

ICS 29.020; 91.120.40

ISBN 978-2-88912-794-8

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....	10
3.1 Terms and definitions	10
3.2 Symbols and abbreviations.....	16
4 Explanation of terms.....	19
4.1 Damage and loss	19
4.1.1 Source of damage	19
4.1.2 Types of damage.....	19
4.1.3 Types of loss	19
4.2 Risk and risk components.....	20
4.2.1 Risk.....	20
4.2.2 Risk components for a structure due to flashes to the structure	21
4.2.3 Risk component for a structure due to flashes near the structure	21
4.2.4 Risk components for a structure due to flashes to a line connected to the structure	21
4.2.5 Risk component for a structure due to flashes near a line connected to the structure	21
4.3 Composition of risk components.....	22
5 Risk management.....	23
5.1 Basic procedure	23
5.2 Structure to be considered for risk assessment	23
5.3 Tolerable risk R_T	24
5.4 Specific procedure to evaluate the need of protection.....	24
5.5 Procedure to evaluate the cost effectiveness of protection	25
5.6 Protection measures	27
5.7 Selection of protection measures.....	28
6 Assessment of risk components	28
6.1 Basic equation.....	28
6.2 Assessment of risk components due to flashes to the structure (S1).....	28
6.3 Assessment of the risk component due to flashes near the structure (S2)	29
6.4 Assessment of risk components due to flashes to a line connected to the structure (S3)	29
6.5 Assessment of risk component due to flashes near a line connected to the structure (S4)	30
6.6 Summary of risk components	31
6.7 Partitioning of a structure in zones Z_S	31
6.8 Partitioning of a line into sections S_L	31
6.9 Assessment of risk components in a structure with zones Z_S	32
6.9.1 General criteria.....	32
6.9.2 Single zone structure.....	32
6.9.3 Multi-zone structure	32
6.10 Cost-benefit analysis for economic loss (L4).....	33
Annex A (informative) Assessment of annual number N of dangerous events.....	34
Annex B (informative) Assessment of probability P_X of damage	42

Annex C (informative) Assessment of amount of loss L_X	50
Annex D (informative) Evaluation of costs of loss	57
Annex E (informative) Case study	58
Bibliography	85
Figure 1 – Procedure for deciding the need of protection and for selecting protection measures	26
Figure 2 – Procedure for evaluating the cost-effectiveness of protection measures	27
Figure A.1 – Collection area A_D of an isolated structure	35
Figure A.2 – Complex shaped structure	36
Figure A.3 – Different methods to determine the collection area for the given structure	37
Figure A.4 – Structure to be considered for evaluation of collection area A_D	38
Figure A.5 – Collection areas (A_D , A_M , A_I , A_L)	41
Figure E.1 – Country house	58
Figure E.2 – Office building	63
Figure E.3 – Hospital	70
Figure E.4 – Apartment block	81
Table 1 – Sources of damage, types of damage and types of loss according to the point of strike	20
Table 2 – Risk components to be considered for each type of loss in a structure	22
Table 3 – Factors influencing the risk components	23
Table 4 – Typical values of tolerable risk R_T	24
Table 5 – Parameters relevant to the assessment of risk components	30
Table 6 – Risk components for different types of damage and source of damage	31
Table A.1 – Structure location factor C_D	39
Table A.2 – Line installation factor C_I	40
Table A.3 – Line type factor C_T	40
Table A.4 – Line environmental factor C_E	40
Table B.1 – Values of probability P_{TA} that a flash to a structure will cause shock to living beings due to dangerous touch and step voltages	42
Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage	43
Table B.3 – Value of the probability P_{SPD} as a function of LPL for which SPDs are designed	44
Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions	44
Table B.5 – Value of factor K_{S3} depending on internal wiring	46
Table B.6 – Values of probability P_{TU} that a flash to an entering line will cause shock to living beings due to dangerous touch voltages	47
Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed	47
Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment	47
Table B.9 – Values of the probability P_{LI} depending on the line type and the impulse withstand voltage U_W of the equipment	49

Table C.1 – Type of loss L1: Loss values for each zone.....	51
Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T , L_F and L_O	51
Table C.3 – Reduction factor r_t as a function of the type of surface of soil or floor	52
Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire.....	52
Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure	52
Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard	53
Table C.7 – Type of loss L2: Loss values for each zone.....	53
Table C.8 – Type of loss L2: Typical mean values of L_F and L_O	54
Table C.9 – Type of loss L3: Loss values for each zone.....	54
Table C.10 – Type of loss L3: Typical mean value of L_F	54
Table C.11 – Type of loss L4: Loss values for each zone.....	55
Table C.12 – Type of loss L4: Typical mean values of L_T , L_F and L_O	56
Table E.1 – Country house: Environment and structure characteristics	59
Table E.2 – Country house: Power line	59
Table E.3 – Country house: Telecom line (TLC).....	59
Table E.4 – Country house: Factors valid for zone Z_2 (inside the building).....	60
Table E.5 – Country house: Collection areas of structure and lines.....	61
Table E.6 – Country house: Expected annual number of dangerous events	61
Table E.7 – Country house: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$)	62
Table E.8 – Country house: Risk components relevant to risk R_1 for protected structure.....	62
Table E.9 – Office building: Environment and structure characteristics	63
Table E.10 – Office building: Power line.....	64
Table E.11 – Office building: Telecom line	64
Table E.12 – Office building: Distribution of persons into zones	65
Table E.13 – Office building: Factors valid for zone Z_1 (entrance area outside).....	66
Table E.14 – Office building: Factors valid for zone Z_2 (garden outside)	66
Table E.15 – Office building: Factors valid for zone Z_3 (archive)	67
Table E.16 – Office building: Factors valid for zone Z_4 (offices)	67
Table E.17 – Office building: Factors valid for zone Z_5 (computer centre)	67
Table E.18 – Office building: Collection areas of structure and lines	68
Table E.19 – Office building: Expected annual number of dangerous events.....	68
Table E.20 – Office building: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$).....	69
Table E.21 – Office building: Risk R_1 for the protected structure (values $\times 10^{-5}$).....	70
Table E.22 – Hospital: Environment and global structure characteristics.....	70
Table E.23 – Hospital: Power line	71
Table E.24 – Hospital: Telecom line.....	71
Table E.25 – Hospital: Distribution of persons and of economic values into zones	72
Table E.26 – Hospital: Factors valid for zone Z_1 (outside the building).....	73
Table E.27 – Hospital: Factors valid for zone Z_2 (rooms block)	73
Table E.28 – Hospital: Factors valid for zone Z_3 (operating block)	74
Table E.29 – Hospital: Factors valid for zone Z_4 (intensive care unit).....	75
Table E.30 – Hospital: Collection areas of structure and lines.....	75

Table E.31 – Hospital: Expected annual number of dangerous events	76
Table E.32 – Hospital: Risk R_1 – Values of probability P for the unprotected structure	76
Table E.33 – Hospital: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$)	77
Table E.34 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution a) (values $\times 10^{-5}$)	78
Table E.35 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution b) (values $\times 10^{-5}$)	78
Table E.36 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution c) (values $\times 10^{-5}$)	79
Table E.37 – Hospital: Cost of loss C_L (unprotected) and C_{RL} (protected).....	79
Table E.38 – Hospital: Rates relevant to the protection measures.....	80
Table E.39 – Hospital: Cost C_P and C_{PM} of protection measures (values in \$)	80
Table E.40 – Hospital: Annual saving of money (values in \$)	80
Table E.41 – Apartment block: Environment and global structure characteristics	81
Table E.42 – Apartment block: Power line.....	81
Table E.43 – Apartment block: Telecom line	82
Table E.44 – Apartment block: Factors valid for zone Z_2 (inside the building)	83
Table E.45 – Apartment block: Risk R_1 for the apartment block depending on protection measures	84

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

Part 2: Risk management

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

International Standard IEC 62305-2 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2006, and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- 1) Risk assessment for services connected to structures is excluded from the scope.
- 2) Injuries of living beings caused by electric shock inside the structure are considered.
- 3) Tolerable risk of loss of cultural heritage is lowered from 10^{-3} to 10^{-4} . The value of tolerable risk of loss of economic value ($R_T = 10^{-3}$) is introduced, to be used when data for cost/benefit analysis are not available.
- 4) Extended damage to surroundings structures or to the environment is considered.
- 5) Improved equations are provided for evaluation of

- collection areas relevant to flashes nearby a structure,
- collection areas relevant to flashes to and nearby a line,
- probabilities that a flash can cause damage,
- loss factors even in structures with risk of explosion,
- risk relevant to a zone of a structure,
- cost of loss.

6) Tables are provided to select the relative amount of loss in all cases.

7) Impulse withstand voltage level of equipments was extended down to 1 kV.

This bilingual version corresponds to the monolingual English version, published in 2010-12.

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

FDIS	Report on voting
81/371/FDIS	81/381/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all the parts in the IEC 62305 series, under the general title *Protection against lightning*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Lightning flashes to earth may be hazardous to structures and to lines.

The hazard to a structure can result in

- damage to the structure and to its contents,
- failure of associated electrical and electronic systems,
- injury to living beings in or close to the structure.

Consequential effects of the damage and failures may be extended to the surroundings of the structure or may involve its environment.

To reduce the loss due to lightning, protection measures may be required. Whether they are needed, and to what extent, should be determined by risk assessment.

The risk, defined in this part of IEC 62305 as the probable average annual loss in a structure due to lightning flashes, depends on:

- the annual number of lightning flashes influencing the structure;
- the probability of damage by one of the influencing lightning flashes;
- the mean amount of consequential loss.

Lightning flashes influencing the structure may be divided into

- flashes terminating on the structure,
- flashes terminating near the structure, direct to connected lines (power, telecommunication lines,) or near the lines.

Flashes to the structure or a connected line may cause physical damage and life hazards. Flashes near the structure or line as well as flashes to the structure or line may cause failure of electrical and electronic systems due to overvoltages resulting from resistive and inductive coupling of these systems with the lightning current.

Moreover, failures caused by lightning overvoltages in users' installations and in power supply lines may also generate switching type overvoltages in the installations.

NOTE Malfunctioning of electrical and electronic systems is not covered by the IEC 62305 series. Reference should be made to IEC 61000-4-5 ^[1]1.

The number of lightning flashes influencing the structure depends on the dimensions and the characteristics of the structure and of the connected lines, on the environmental characteristics of the structure and the lines, as well as on lightning ground flash density in the region where the structure and the lines are located.

The probability of lightning damage depends on the structure, the connected lines and the lightning current characteristics, as well as on the type and efficiency of applied protection measures.

The annual mean amount of the consequential loss depends on the extent of damage and the consequential effects which may occur as a result of a lightning flash.

The effect of protection measures results from the features of each protection measure and may reduce the damage probabilities or the amount of consequential loss.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

The decision to provide lightning protection may be taken regardless of the outcome of risk assessment where there is a desire that there be no avoidable risk.

PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

Part 2: Risk management

1 Scope

This part of IEC 62305 is applicable to risk assessment for a structure due to lightning flashes to earth.

Its purpose is to provide a procedure for the evaluation of such a risk. Once an upper tolerable limit for the risk has been selected, this procedure allows the selection of appropriate protection measures to be adopted to reduce the risk to or below the tolerable limit.

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 62305-1:2010, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEC 62305-3:2010, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4:2010, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

3 Terms, definitions, symbols and abbreviations

For the purposes of this document, the following terms, definitions, symbols and abbreviations, some of which have already been cited in Part 1 but are repeated here for ease of reading, as well as those given in other parts of IEC 62305, apply.

3.1 Terms and definitions

3.1.1

structure to be protected

structure for which protection is required against the effects of lightning in accordance with this standard

NOTE A structure to be protected may be part of a larger structure.

3.1.2

structures with risk of explosion

structures containing solid explosives materials or hazardous zones as determined in accordance with IEC 60079-10-1^[2] and IEC 60079-10-2^[3]

3.1.3

structures dangerous to the environment

structures which may cause biological, chemical or radioactive emission as a consequence of lightning (such as chemical, petrochemical, nuclear plants, etc.)

3.1.4**urban environment**

area with a high density of buildings or densely populated communities with tall buildings

NOTE 'Town centre' is an example of an urban environment.

3.1.5**suburban environment**

area with a medium density of buildings

NOTE 'Town outskirts' is an example of a suburban environment.

3.1.6**rural environment**

area with a low density of buildings

NOTE 'Countryside' is an example of a rural environment.

3.1.7**rated impulse withstand voltage level**

U_W

impulse withstand voltage assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against (transient) overvoltages

[IEC 60664-1:2007, definition 3.9.2, modified] ^[4]

NOTE For the purposes of this part of IEC 62305, only the withstand voltage between live conductors and earth is considered.

3.1.8**electrical system**

system incorporating low voltage power supply components

3.1.9**electronic system**

system incorporating sensitive electronic components such as telecommunication equipment, computer, control and instrumentation systems, radio systems, power electronic installations

3.1.10**internal systems**

electrical and electronic systems within a structure

3.1.11**line**

power line or telecommunication line connected to the structure to be protected

3.1.12**telecommunication lines**

lines intended for communication between equipment that may be located in separate structures, such as phone lines and data lines

3.1.13**power lines**

distribution lines feeding electrical energy into a structure to power electrical and electronic equipment located there, such as low voltage (LV) or high voltage (HV) electric mains

3.1.14

dangerous event

lightning flash to or near the structure to be protected, or to or near a line connected to the structure to be protected that may cause damage

3.1.15

lightning flash to a structure

lightning flash striking a structure to be protected

3.1.16

lightning flash near a structure

lightning flash striking close enough to a structure to be protected that it may cause dangerous overvoltages

3.1.17

lightning flash to a line

lightning flash striking a line connected to the structure to be protected

3.1.18

lightning flash near a line

lightning flash striking close enough to a line connected to the structure to be protected that it may cause dangerous overvoltages

3.1.19

number of dangerous events due to flashes to a structure

N_D

expected average annual number of dangerous events due to lightning flashes to a structure

3.1.20

number of dangerous events due to flashes to a line

N_L

expected average annual number of dangerous events due to lightning flashes to a line

3.1.21

number of dangerous events due to flashes near a structure

N_M

expected average annual number of dangerous events due to lightning flashes near a structure

3.1.22

number of dangerous events due to flashes near a line

N_I

expected average annual number of dangerous events due to lightning flashes near a line

3.1.23

lightning electromagnetic impulse

LEMP

all electromagnetic effects of lightning current via resistive, inductive and capacitive coupling, which create surges and electromagnetic fields

3.1.24

surge

transient created by LEMP that appears as an overvoltage and/or overcurrent

3.1.25

node

point on a line from which onward surge propagation can be assumed to be neglected

NOTE Examples of nodes are a point on a power line branch distribution at an HV/LV transformer or on a power substation, a telecommunication exchange or an equipment (e.g. multiplexer or xDSL equipment) on a telecommunication line.

3.1.26

physical damage

damage to a structure (or to its contents) due to mechanical, thermal, chemical or explosive effects of lightning

3.1.27

injury to living beings

permanent injuries, including loss of life, to people or to animals by electric shock due to touch and step voltages caused by lightning

NOTE Although living beings may be injured in other ways, in this part of IEC 62305 the term 'injury to living beings' is limited to the threat due to electrical shock (type of damage D1).

3.1.28

failure of electrical and electronic systems

permanent damage of electrical and electronic systems due to LEMP

3.1.29

probability of damage

P_X

probability that a dangerous event will cause damage to or in the structure to be protected

3.1.30

loss

L_X

mean amount of loss (humans and goods) consequent on a specified type of damage due to a dangerous event, relative to the value (humans and goods) of the structure to be protected

3.1.31

risk

R

value of probable average annual loss (humans and goods) due to lightning, relative to the total value (humans and goods) of the structure to be protected

3.1.32

risk component

R_X

partial risk depending on the source and the type of damage

3.1.33

tolerable risk

R_T

maximum value of the risk which can be tolerated for the structure to be protected

3.1.34

zone of a structure

Z_S

part of a structure with homogeneous characteristics where only one set of parameters is involved in assessment of a risk component

3.1.35

section of a line

S_L

part of a line with homogeneous characteristics where only one set of parameters is involved in the assessment of a risk component

3.1.36

lightning protection zone

LPZ

zone where the lightning electromagnetic environment is defined

NOTE The zone boundaries of an LPZ are not necessarily physical boundaries (e.g. walls, floor and ceiling).

3.1.37

lightning protection level

LPL

number related to a set of lightning current parameters values relevant to the probability that the associated maximum and minimum design values will not be exceeded in naturally occurring lightning

NOTE Lightning protection level is used to design protection measures according to the relevant set of lightning current parameters.

3.1.38

protection measures

measures to be adopted in the structure to be protected, in order to reduce the risk

3.1.39

lightning protection

LP

complete system for protection of structures against lightning, including their internal systems and contents, as well as persons, in general consisting of an LPS and SPM

3.1.40

lightning protection system

LPS

complete system used to reduce physical damage due to lightning flashes to a structure

NOTE It consists of both external and internal lightning protection systems.

3.1.41

LEMP protection measures

SPM

measures taken to protect internal systems against the effects of LEMP

NOTE This is part of overall lightning protection

3.1.42

magnetic shield

closed, metallic, grid-like or continuous screen enveloping the structure to be protected, or part of it, used to reduce failures of electrical and electronic systems

3.1.43

lightning protective cable

special cable with increased dielectric strength and whose metallic sheath is in continuous contact with the soil either directly or by use of conducting plastic covering

3.1.44

lightning protective cable duct

cable duct of low resistivity in contact with the soil

EXAMPLE Concrete with interconnected structural steel reinforcements or metallic duct.

3.1.45**surge protective device****SPD**

device intended to limit transient overvoltages and divert surge currents; contains at least one non-linear component

3.1.46**coordinated SPD system**

SPDs properly selected, coordinated and installed to form a system intended to reduce failures of electrical and electronic systems

3.1.47**isolating interfaces**

devices which are capable of reducing conducted surges on lines entering the LPZ

NOTE 1 These include isolation transformers with earthed screen between windings, metal-free fibre optic cables and opto-isolators.

NOTE 2 Insulation withstand characteristics of these devices are suitable for this application intrinsically or via SPD.

3.1.48**lightning equipotential bonding****EB**

bonding to LPS of separated metallic parts, by direct conductive connections or via surge protective devices, to reduce potential differences caused by lightning current

3.1.49**zone 0**

place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture of air and flammable substances in the form of gas, vapour or mist is present continuously or for long periods or frequently

(IEC 60050-426:2008, 426-03-03, modified) ^[5]

3.1.50**zone 1**

place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture of air and flammable substances in the form of gas, vapour or mist is likely to occur in normal operation occasionally

(IEC 60050-426:2008, 426-03-04, modified) ^[5]

3.1.51**zone 2**

place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture of air and flammable substances in the form of gas, vapour or mist is not likely to occur in normal operation but, if it does occur, will persist for a short period only

NOTE 1 In this definition, the word "persist" means the total time for which the flammable atmosphere will exist. This will normally comprise the total of the duration of the release, plus the time taken for the flammable atmosphere to disperse after the release has stopped.

NOTE 2 Indications of the frequency of the occurrence and duration may be taken from codes relating to specific industries or applications.

(IEC 60050-426:2008, 426-03-05, modified) ^[5]

3.1.52**zone 20**

place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is present continuously, or for long periods, or frequently

(IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modified) ^[3]

3.1.53

zone 21

place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is likely to occur in normal operation occasionally

(IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modified) ^[3]

3.1.54

zone 22

place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is not likely to occur in normal operation but, if it does occur, will persist for a short period only

(IEC 60079-10-2:2009, 6.2, modified) ^[3]

3.2 Symbols and abbreviations

a	Amortization rate.....	Annex D
A_D	Collection area for flashes to an isolated structure	A.2.1.1
A_{DJ}	Collection area for flashes to an adjacent structure	A.2.5
A_D'	Collection area attributed to an elevated roof protrusion	A.2.1.2
A_l	Collection area for flashes near a line	A.5
A_L	Collection area for flashes to a line	A.4
A_M	Collection area for flashes striking near the structure	A.3
B	Building.....	A.2
C_D	Location factor	Table A.1
C_{DJ}	Location factor of an adjacent structure.....	A.2.5
C_E	Environmental factor	Table A.4
C_l	Installation factor of the line	Table A.2
C_L	Annual cost of total loss in absence of protection measures	5.5; Annex D
C_{LD}	Factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line for flashes to a line	Annex B
C_{LI}	Factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line for flashes near a line	Annex B
C_{LZ}	Cost of loss in a zone.....	Annex D
C_P	Cost of protection measures.....	Annex D
C_{PM}	Annual cost of selected protection measures.....	5.5; Annex D
C_{RL}	Annual cost of residual loss.....	5.5; Annex D
C_{RLZ}	Cost of residual loss in a zone.....	Annex D
C_T	Line type factor for a HV/LV transformer on the line	Table A.3
c_a	Value of the animals in the zone, in currency	C.6
c_b	Value of the building relevant to the zone, in currency.....	C.6
c_c	Value of the content in the zone, in currency	C.6
c_e	Total value of goods in dangerous place outside the structure, in currency	C.6
c_s	Value of the internal systems (including their activities) in the zone, in currency	C.6
c_t	Total value of the structure, in currency	C.5; C.6
c_z	Value of the cultural heritage in the zone, in currency	C.5
$D1$	Injury to living beings by electric shock	4.1.2
$D2$	Physical damage	4.1.2

D3	Failure of electrical and electronic systems	4.1.2
h_z	Factor increasing the loss when a special hazard is present	Table C.6
H	Height of the structure	A.2.1.1
H_J	Height of the adjacent structure	A.2.5
i	Interest rate	Annex D
K_{MS}	Factor relevant to the performance of protection measures against LEMP	B.5
K_{S1}	Factor relevant to the screening effectiveness of the structure	B.5
K_{S2}	Factor relevant to the screening effectiveness of shields internal to the structure	B.5
K_{S3}	Factor relevant to the characteristics of internal wiring	B.5
K_{S4}	Factor relevant to the impulse withstand voltage of a system	B.5
L	Length of structure	A.2.1.1
L_J	Length of the adjacent structure	A.2.5
L_A	Loss due to injury to living beings by electric shock (flashes to structure)	6.2
L_B	Loss in a structure related to physical damage (flashes to structure)	6.2
L_L	Length of line section	A.4
L_C	Loss related to failure of internal systems (flashes to structure)	6.2
L_E	Additional loss when the damage involves surrounding structures	C.3; C.6
L_F	Loss in a structure due to physical damage	Tables C.2, C.8, C.10, C.12
L_{FE}	Loss due to physical damage outside the structure	C.3; C.6
L_{FT}	Total loss due to physical damage in and outside the structure	C.3; C.6
L_M	Loss related to failure of internal systems (flashes near structure)	6.3
L_O	Loss in a structure due to failure of internal systems	Tables C.2, C.8, C.12
L_T	Loss due to injury by electric shock	Tables C.2, C.12
L_U	Loss due to injury of living beings by electric shock (flashes to line)	6.4
L_V	Loss in a structure due to physical damage (flashes to line)	6.4
L_W	Loss related to failure of internal systems (flashes to line)	6.4
L_X	Loss consequent to damages relevant to structure	6.1
L_Z	Loss related to failure of internal systems (flashes near a line)	6.5
L1	Loss of human life	4.1.3
L2	Loss of service to the public	4.1.3
L3	Loss of cultural heritage	4.1.3
L4	Loss of economic value	4.1.3
m	Maintenance rate	Annex D
N_X	Number of dangerous events per annum	6.1
N_D	Number of dangerous events due to flashes to structure	A.2.4
N_{DJ}	Number of dangerous events due to flashes to adjacent structure	A.2.5
N_G	Lightning ground flash density	A.1
N_I	Number of dangerous events due to flashes near a line	A.5
N_L	Number of dangerous events due to flashes to a line	A.4
N_M	Number of dangerous events due to flashes near a structure	A.3
n_z	Number of possible endangered persons (victims or users not served)	C.3; C.4
n_t	Expected total number of persons (or users served)	C.3; C.4
P	Probability of damage	Annex B
P_A	Probability of injury to living beings by electric shock (flashes to a structure)	6.2; B.2
P_B	Probability of physical damage to a structure (flashes to a structure)	Table B.2

P_C	Probability of failure of internal systems (flashes to a structure)6.2; B.4
P_{EB}	Probability reducing P_U and P_V depending on line characteristics and withstand voltage of equipment when EB is installed Table B.7
P_{LD}	Probability of reducing P_U , P_V and P_W depending on line characteristics and withstand voltage of equipment (flashes to connected line) Table B.8
P_{LI}	Probability of reducing P_Z depending on line characteristics and withstand voltage of equipment (flashes near a connected line) Table B.9
P_M	Probability of failure of internal systems (flashes near a structure)6.3; B.5
P_{MS}	Probability of reducing P_M depending on shielding, wiring and withstand voltage of equipment B.5
P_{SPD}	Probability of reducing P_C , P_M , P_W and P_Z when a coordinated SPD system is installed Table B.3
P_{TA}	Probability of reducing P_A depending on protection measures against touch and step voltages Table B.1
P_U	Probability of injury to living beings by electric shock (flashes to a connected line)6.4; B.6
P_V	Probability of physical damage to a structure (flashes to a connected line)..... 6.4; B.7
P_W	Probability of failure of internal systems (flashes to connected line).....6.4; B.8
P_X	Probability of damage relevant to a structure6.1
P_Z	Probability of failure of internal systems (flashes near a connected line)..... 6.5; B.9
r_t	Reduction factor associated with the type of surface C.3
r_f	Factor reducing loss depending on risk of fire C.3
r_p	Factor reducing the loss due to provisions against fire C.3
R	Risk4.2
R_A	Risk component (injury to living beings – flashes to structure).....4.2.2
R_B	Risk component (physical damage to a structure – flashes to a structure)4.2.2
R_C	Risk component (failure of internal systems –flashes to structure).....4.2.2
R_M	Risk component (failure of internal systems – flashes near structure)..... 4.2.3
R_S	Shield resistance per unit length of a cable Table B.8
R_T	Tolerable risk 5.3; Table 4
R_U	Risk component (injury to living being – flashes to connected line).....4.2.4
R_V	Risk component (physical damage to structure – flashes to connected line)4.2.4
R_W	Risk component (failure of internal systems – flashes to connected line).....4.2.4
R_X	Risk component for a structure6.1
R_Z	Risk component (failure of internal systems – flashes near a line).....4.2.5
R_1	Risk of loss of human life in a structure4.2.1
R_2	Risk of loss of service to the public in a structure4.2.1
R_3	Risk of loss of cultural heritage in a structure4.2.1
R_4	Risk of loss of economic value in a structure4.2.1
R'_4	Risk R_4 when protection measures are adopted Annex D
S	StructureA.2.2
S_M	Annual saving of money Annex D
S_L	Section of a line6.8
$S1$	Source of damage – Flashes to a structure4.1.1
$S2$	Source of damage – Flashes near a structure4.1.1
$S3$	Source of damage – Flashes to a line4.1.1
$S4$	Source of damage – Flashes near a line4.1.1

t_e	Time in hours per year of presence of people in a dangerous place outside the structure.....	C.3
t_z	Time in hours per year that persons are present in a dangerous place	C.2
T_D	Thunderstorm days per year	A.1
U_W	Rated impulse withstand voltage of a system	B.5
w_m	Mesh width.....	B.5
W	Width of structure.....	A.2.1.1
W_J	Width of the adjacent structure.....	A.2.5
X	Subscript identifying the relevant risk component.....	6.1
Z_S	Zones of a structure	6.7

4 Explanation of terms

4.1 Damage and loss

4.1.1 Source of damage

The lightning current is the primary source of damage. The following sources are distinguished by the point of strike (see Table 1):

- S1: flashes to a structure,
- S2: flashes near a structure,
- S3: flashes to a line,
- S4: flashes near a line.

4.1.2 Types of damage

A lightning flash may cause damage depending on the characteristics of the structure to be protected. Some of the most important characteristics are: type of construction, contents and application, type of service and protection measures provided.

For practical applications of this risk assessment, it is useful to distinguish between three basic types of damage which can appear as the consequence of lightning flashes. They are as follows (see Table 1):

- D1: injury to living beings by electric shock;
- D2: physical damage;
- D3: failure of electrical and electronic systems.

The damage to a structure due to lightning may be limited to a part of the structure or may extend to the entire structure. It may also involve surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions).

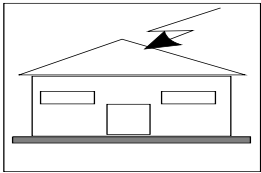
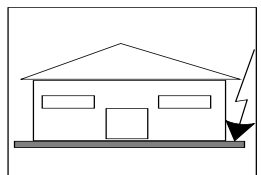
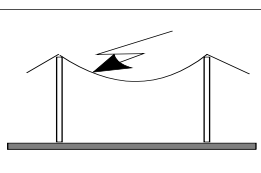
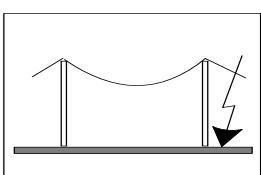
4.1.3 Types of loss

Each type of damage, alone or in combination with others, may produce a different consequential loss in the structure to be protected. The type of loss that may appear, depends on the characteristics of the structure itself and its content. The following types of loss shall be taken into account (see Table 1):

- L1: loss of human life (including permanent injury);
- L2: loss of service to the public;
- L3: loss of cultural heritage;

L4: loss of economic value (structure, content, and loss of activity).

Table 1 – Sources of damage, types of damage and types of loss according to the point of strike

Lightning flash		Structure	
Point of strike	Source of damage	Type of damage	Type of loss
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Only for properties where animals may be lost. ^b Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failures of internal systems immediately endangers human life.			

4.2 Risk and risk components

4.2.1 Risk

The risk R is the relative value of a probable average annual loss. For each type of loss which may appear in a structure, the relevant risk shall be evaluated.

The risks to be evaluated in a structure may be as follows:

- R_1 : risk of loss of a human life (including permanent injury);
- R_2 : risk of loss of service to the public;
- R_3 : risk of loss of cultural heritage;
- R_4 : risk of loss of economic value.

To evaluate risks, R , the relevant risk components (partial risks depending on the source and type of damage) shall be defined and calculated.

Each risk, R , is the sum of its risk components. When calculating a risk, the risk components may be grouped according to the source of damage and the type of damage.

4.2.2 Risk components for a structure due to flashes to the structure

R_A : Component related to injury to living beings caused by electric shock due to touch and step voltages inside the structure and outside in the zones up to 3 m around down-conductors. Loss of type L1 and, in the case of structures holding livestock, loss of type L4 with possible loss of animals may also arise.

NOTE In special structures, people may be endangered by direct strikes (e.g. top level of garage parking or stadiums). These cases may also be considered using the principles of this part of IEC 62305.

R_B : Component related to physical damage caused by dangerous sparking inside the structure triggering fire or explosion which may also endanger the environment. All types of loss (L1, L2, L3 and L4) may arise.

R_C : Component related to failure of internal systems caused by LEMP. Loss of type L2 and L4 could occur in all cases along with type L1 in the case of structures with risk of explosion, and hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.

4.2.3 Risk component for a structure due to flashes near the structure

R_M : Component related to failure of internal systems caused by LEMP. Loss of type L2 and L4 could occur in all cases, along with type L1 in the case of structures with risk of explosion, and hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.

4.2.4 Risk components for a structure due to flashes to a line connected to the structure

R_U : Component related to injury to living beings caused by electric shock due to touch voltage inside the structure. Loss of type L1 and, in the case of agricultural properties, loss of type L4 with possible loss of animals could also occur.

R_V : Component related to physical damage (fire or explosion triggered by dangerous sparking between external installation and metallic parts generally at the entrance point of the line into the structure) due to lightning current transmitted through or along incoming lines. All types of loss (L1, L2, L3, L4) may occur.

R_W : Component related to failure of internal systems caused by overvoltages induced on incoming lines and transmitted to the structure. Loss of type L2 and L4 could occur in all cases, along with type L1 in the case of structures with risk of explosion, and hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.

NOTE 1 The lines taken into account in this assessment are only the lines entering the structure.

NOTE 2 Lightning flashes to, or near, pipes are not considered as a source of damage, based on the bonding of pipes to an equipotential bonding bar. If an equipotential bonding bar is not provided, such a threat should also be considered.

4.2.5 Risk component for a structure due to flashes near a line connected to the structure

R_Z : Component related to failure of internal systems caused by overvoltages induced on incoming lines and transmitted to the structure. Loss of type L2 and L4 could occur in all cases, along with type L1 in the case of structures with risk of explosion, and hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endanger human life.

NOTE 1 The lines taken into account in this assessment are only the lines entering the structure.

NOTE 2 Lightning flashes to or near pipes are not considered as a source of damage, based on the bonding of pipes to an equipotential bonding bar. If an equipotential bonding bar is not provided, such a threat should also be considered.

4.3 Composition of risk components

Risk components to be considered for each type of loss in a structure are listed below:

R_1 : Risk of loss of human life:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^{1)} + R_{M1}^{1)} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^{1)} + R_{Z1}^{1)} \quad (1)$$

¹⁾ Only for structures with risk of explosion and for hospitals with life-saving electrical equipment or other structures when failure of internal systems immediately endangers human life.

R_2 : Risk of loss of service to the public:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

R_3 : Risk of loss of cultural heritage:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

R_4 : Risk of loss of economic value:

$$R_4 = R_{A4}^{2)} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{2)} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

²⁾ Only for properties where animals may be lost.

The risk components corresponding to each type of loss are also combined in Table 2.

Table 2 – Risk components to be considered for each type of loss in a structure

Source of damage	Flash to a structure S1			Flash near a structure S2	Flash to a line connected to the structure S3			Flash near a line connected to the structure S4
	R_A	R_B	R_C		R_U	R_V	R_W	
Risk component	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risk for each type of loss								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	*b	*	*	*
^a Only for structures with risk of explosion, and for hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life. ^b Only for properties where animals may be lost.								

Characteristics of the structure and of possible protection measures influencing risk components for a structure are given in Table 3.

Table 3 – Factors influencing the risk components

Characteristics of structure or of internal systems Protection measures	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Collection area	X	X	X	X	X	X	X	X
Surface soil resistivity	X							
Floor resistivity	X				X			
Physical restrictions, insulation, warning notice, soil equipotentialization	X				X			
LPS	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Bonding SPD	X	X			X	X		
Isolating interfaces			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Coordinated SPD system			X	X			X	X
Spatial shield			X	X				
Shielding external lines					X	X	X	X
Shielding internal lines			X	X				
Routing precautions			X	X				
Bonding network			X					
Fire precautions		X				X		
Fire sensitivity		X				X		
Special hazard		X				X		
Impulse withstand voltage			X	X	X	X	X	X
^a Only for grid-like external LPS. ^b Due to equipotential bonding. ^c Only if they belong to equipment.								

5 Risk management

5.1 Basic procedure

The following procedure shall be applied:

- identification of the structure to be protected and its characteristics;
- identification of all the types of loss in the structure and the relevant corresponding risk R (R_1 to R_4);
- evaluation of risk R for each type of loss R_1 to R_4 ;
- evaluation of need of protection, by comparison of risk R_1 , R_2 and R_3 with the tolerable risk R_T ;
- evaluation of cost effectiveness of protection by comparison of the costs of total loss with and without protection measures. In this case, the assessment of components of risk R_4 shall be performed in order to evaluate such costs (see Annex D).

5.2 Structure to be considered for risk assessment

The structure to be considered includes:

- the structure itself;
- installations in the structure;

- contents of the structure;
- persons in the structure or in the zones up to 3 m from the outside of the structure;
- environment affected by damage to the structure.

Protection does not include connected lines outside of the structure.

NOTE The structure to be considered may be subdivided into several zones (see 6.7).

5.3 Tolerable risk R_T

It is the responsibility of the authority having jurisdiction to identify the value of tolerable risk.

Representative values of tolerable risk R_T , where lightning flashes involve loss of human life or loss of social or cultural values, are given in Table 4.

Table 4 – Typical values of tolerable risk R_T

Types of loss		$R_T (y^{-1})$
L1	Loss of human life or permanent injuries	10^{-5}
L2	Loss of service to the public	10^{-3}
L3	Loss of cultural heritage	10^{-4}

In principle, for loss of economic value (L4), the route to be followed is the cost/benefit comparison given in Annex D. If the data for this analysis are not available, the representative value of tolerable risk $R_T = 10^{-3}$ may be used.

5.4 Specific procedure to evaluate the need of protection

According to IEC 62305-1, risks R_1 , R_2 and R_3 shall be considered in the evaluation of the need of protection against lightning.

For each risk to be considered the following steps shall be taken:

- identification of the components R_X which make up the risk;
- calculation of the identified risk components R_X ;
- calculation of the total risk R (see 4.3);
- identification of the tolerable risk R_T ;
- comparison of the risk R with the tolerable value R_T .

If $R \leq R_T$, lightning protection is not necessary.

If $R > R_T$, protection measures shall be adopted in order to reduce $R \leq R_T$ for all risks to which the structure is subjected.

The procedure to evaluate the need for protection is given in Figure 1.

NOTE 1 In cases where the risk cannot be reduced to a tolerable level, the site owner should be informed and the highest level of protection provided to the installation.

NOTE 2 Where protection against lightning is required by the authority having jurisdiction for structures with a risk of explosion, at least a class II LPS should be adopted. Exceptions to the use of lightning protection level II may be allowed when technically justified and authorized by the authority having jurisdiction. For example, the use of lightning protection level I is allowed in all cases, especially in those cases where the environments or contents within the structure are exceptionally sensitive to the effects of lightning. In addition, authorities having jurisdiction may choose to allow lightning protection level III systems where the infrequency of lightning activity and/or the insensitivity of the contents of the structure warrants it.

NOTE 3 When the damage to a structure due to lightning may also involve surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions), additional protection measures for the structure and measures appropriate for these zones may be requested by the authorities having jurisdiction.

5.5 Procedure to evaluate the cost effectiveness of protection

Besides the need for lightning protection of a structure, it may be useful to ascertain the economic benefits of installing protection measures in order to reduce the economic loss L_4 .

The assessment of components of risk R_4 allows the user to evaluate the cost of the economic loss with and without the adopted protection measures (see Annex D).

The procedure to ascertain the cost effectiveness of protection requires:

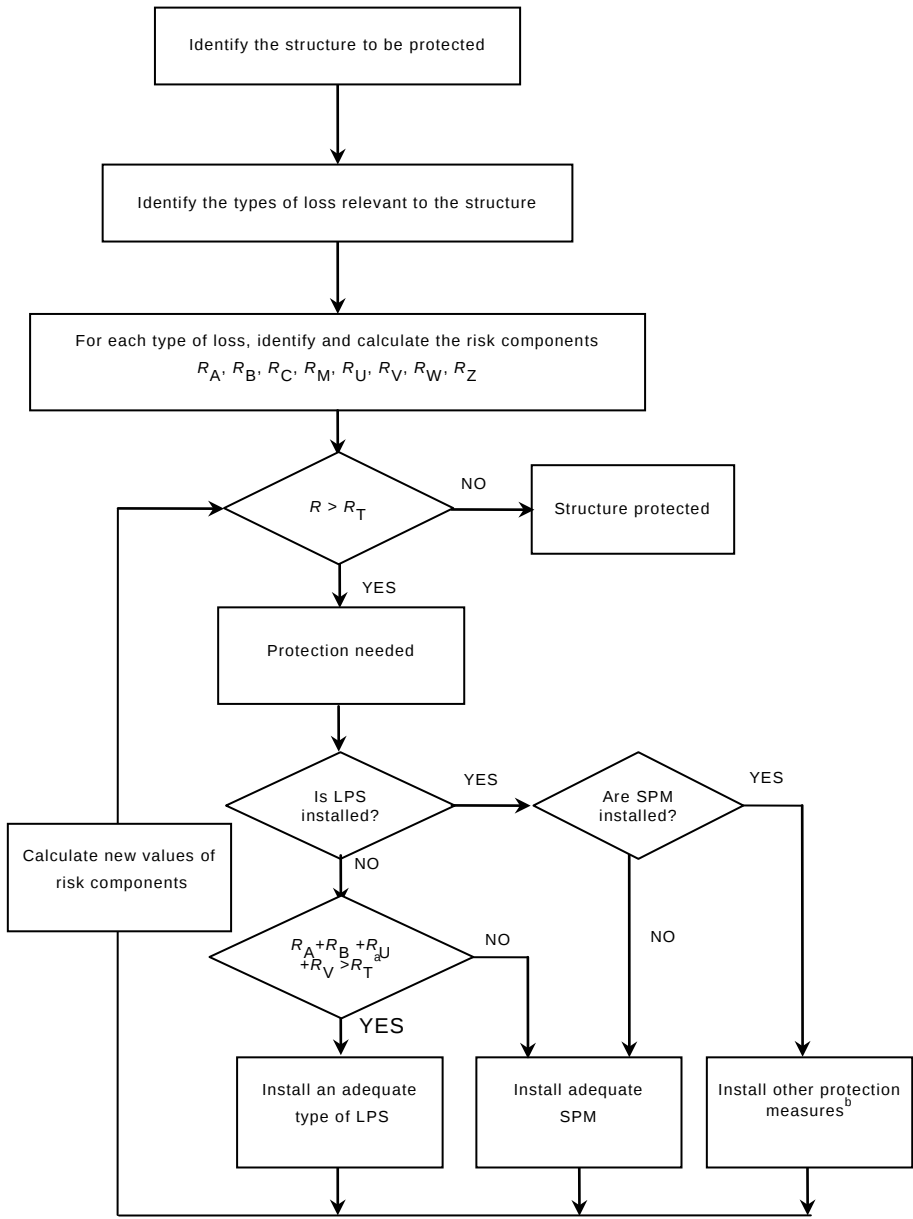
- identification of the components R_X which make up the risk R_4 ;
- calculation of the identified risk components R_X in the absence of new/additional protection measures;
- calculation of the annual cost of loss due to each risk component R_X ;
- calculation of the annual cost C_L of total loss in the absence of protection measures;
- adoption of selected protection measures;
- calculation of risk components R_X with selected protection measures present;
- calculation of the annual cost of residual loss due to each risk component R_X in the protected structure;
- calculation of the total annual cost C_{RL} of residual loss with selected protection measures present;
- calculation of the annual cost C_{PM} of selected protection measures;
- comparison of costs.

If $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, lightning protection may be deemed not to be cost effective.

If $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, protection measures may prove to save money over the life of the structure.

The procedure to evaluate the cost-effectiveness of protection is outlined in Figure 2.

It may be useful to evaluate some variants of combination of protection measures to find the optimal solution regarding the cost effectiveness.

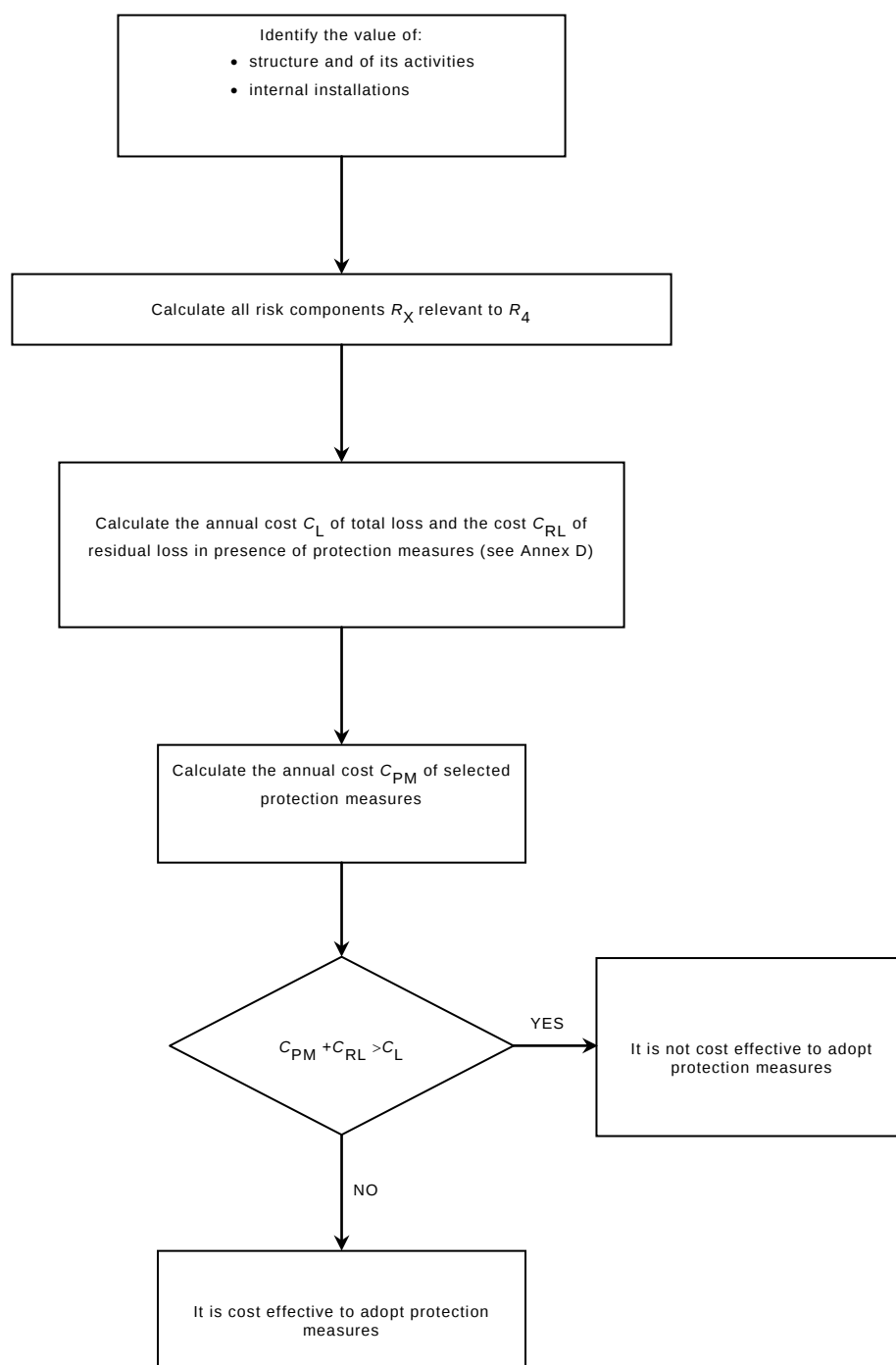


IEC 2635/10

^a If $R_A, R_B < R_T$, a complete LPS is not necessary; in this case SPD(s) according to IEC 62305-3 are sufficient.

^b See Table 3.

Figure 1 – Procedure for deciding the need of protection and for selecting protection measures



IEC 2636/10

Figure 2 – Procedure for evaluating the cost-effectiveness of protection measures**5.6 Protection measures**

Protection measures are directed to reducing the risk according to the type of damage.

Protection measures shall be considered effective only if they conform to the requirements of the following relevant standards:

- IEC 62305-3 for protection against injury to living beings and physical damage in a structure;

- IEC 62305-4 for protection against failure of electrical and electronic systems.

5.7 Selection of protection measures

The selection of the most suitable protection measures shall be made by the designer according to the share of each risk component in the total risk R and according to the technical and economic aspects of the different protection measures.

Critical parameters shall be identified to determine the more efficient measure to reduce the risk R .

For each type of loss, there is a number of protection measures which, individually or in combination, make the condition $R \leq R_T$. The solution to be adopted shall be selected with allowance for technical and economic aspects. A simplified procedure for selection of protective measures is given in the flow diagram of Figure 1. In any case, the installer or planner should identify the most critical risk components and reduce them, also taking into account economic aspects.

6 Assessment of risk components

6.1 Basic equation

Each risk component R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W and R_Z , as described in 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 and 4.2.5 may be expressed by the following general equation:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

where

N_X is the number of dangerous events per annum (see also Annex A);

P_X is the probability of damage to a structure (see also Annex B);

L_X is the consequent loss (see also Annex C).

The number N_X of dangerous events is affected by lightning ground flash density (N_G) and by the physical characteristics of the structure to be protected, its surroundings, connected lines and the soil.

The probability of damage P_X is affected by characteristics of the structure to be protected, the connected lines and the protection measures provided.

The consequent loss L_X is affected by the use to which the structure is assigned, the attendance of persons, the type of service provided to public, the value of goods affected by the damage and the measures provided to limit the amount of loss.

NOTE When the damage to a structure due to lightning may also involve surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions), the consequent loss should be added to the value of L_X .

6.2 Assessment of risk components due to flashes to the structure (S1)

For evaluation of risk components related to lightning flashes to the structure, the following relationships apply:

- component related to injury to living beings by electric shock (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

- component related to physical damage (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

- component related to failure of internal systems (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

Parameters to assess these risk components are given in Table 5.

6.3 Assessment of the risk component due to flashes near the structure (S2)

For evaluation of the risk component related to lightning flashes near the structure, the following relationship applies:

- component related to failure of internal systems (D3)

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

Parameters to assess this risk component are given in Table 5.

6.4 Assessment of risk components due to flashes to a line connected to the structure (S3)

For evaluation of the risk components related to lightning flashes to an incoming line, the following relationships apply:

- component related to injury to living beings by electric shock (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

- component related to physical damage (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

- component related to failure of internal systems (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTE 1 In many cases N_{DJ} may be neglected.

Parameters to assess these risk components are given in Table 5.

If the line has more than one section (see 6.8), the values of R_U , R_V and R_W are the sum of the R_U , R_V and R_W values relevant to each section of the line. The sections to be considered are those between the structure and the first node.

In the case of a structure with more than one connected line with different routing, the calculations shall be performed for each line.

In the case of a structure with more than one connected line with the same routing, the calculations shall be performed only for the line with the worst characteristics, i.e. the line with the highest values of N_L and N_I connected to the internal system with the lowest value of U_W (telecom line versus power line, unscreened line versus screened line, LV power line versus HV power line with HV/LV transformer, etc.).

NOTE 2 In the case of lines for which there is an overlapping of the collection area, the overlapping area should be considered only once.

6.5 Assessment of risk component due to flashes near a line connected to the structure (S4)

For evaluation of the risk component related to lightning flashes near a line connected to the structure, the following relationship applies:

- component related to failure of internal systems (D3)

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

Parameters to assess this risk component are given in Table 5.

If the line has more than one section (see 6.8), the value of R_Z is the sum of the R_Z components relevant to each section of the line. The sections to be considered are those between the structure and the first node.

Table 5 – Parameters relevant to the assessment of risk components

Symbol	Denomination	Value according to Clause
Average annual number of dangerous events due to flashes		
N_D	– to the structure	A.2
N_M	– near the structure	A.3
N_L	– to a line entering the structure	A.4
N_I	– near a line entering the structure	A.5
N_{DJ}	– to the adjacent structure (see Figure A.5)	A.2
Probability that a flash to the structure will cause		
P_A	– injury to living beings by electric shock	B.2
P_B	– physical damage	B.3
P_C	– failure of internal systems	B.4
Probability that a flash near the structure will cause		
P_M	– failure of internal systems	B.5
Probability that a flash to a line will cause		
P_U	– injury to living beings by electric shock	B.6
P_V	– physical damage	B.7
P_W	– failure of internal systems	B.8
Probability that a flash near a line will cause		
P_Z	– failure of internal systems	B.9
Loss due to		
$L_A = L_U$	– injury to living beings by electric shock	C.3
$L_B = L_V$	– physical damage	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	– failure of internal systems	C.3, C.4, C.6

In the case of a structure with more than one connected line with different routing, the calculations shall be performed for each line.

In the case of a structure with more than one connected line with the same routing, the calculations shall be performed only for the line with the worst characteristics, i.e. the line with the highest values of N_L and N_I connected to the internal system with the lowest value of U_W (telecom line versus power line, unscreened line versus screened line, LV power line versus HV power line with HV/LV transformer, etc.)

6.6 Summary of risk components

Risk components for structures are summarized in Table 6 according to different types of damage and different sources of damage.

Table 6 – Risk components for different types of damage and source of damage

Damage	Source of damage			
	S1 Lightning flash to a structure	S2 Lightning flash near a structure	S3 Lightning flash to an incoming line	S4 Lightning flash near a line
D1 Injury to living beings by electric shock	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Physical damage	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Failure of electrical and electronic systems	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

If the structure is partitioned in zones Z_S (see 6.7), each risk component shall be evaluated for each zone Z_S .

The total risk R of the structure is the sum of risks components relevant to the zones Z_S which constitute the structure.

6.7 Partitioning of a structure in zones Z_S

To assess each risk component, a structure could be divided into zones Z_S each having homogeneous characteristics. However, a structure may be, or may be assumed to be, a single zone.

Zones Z_S are mainly defined by:

- type of soil or of floor (risk components R_A and R_U);
- fireproof compartments (risk components R_B and R_V);
- spatial shields (risk components R_C and R_M).

Further zones may be defined according to

- layout of internal systems (risk components R_C and R_M),
- protection measures existing or to be provided (all risk components),
- losses L_X values (all risk components).

Partitioning of the structure in zones Z_S should take into account the feasibility of the implementation of the most suitable protection measures.

NOTE Zones Z_S according to this part of IEC 62305 may be LPZ in line with IEC 62305-4. However they may also be different from LPZs.

6.8 Partitioning of a line into sections S_L

To assess the risk components due to a flash to or near a line, the line could be divided into sections S_L . However a line may be, or may be assumed to be, a single section.

For all risk components, sections S_L are mainly defined by

- type of line (aerial or buried),
- factors affecting the collection area (C_D , C_E , C_T),
- characteristics of line (shielded or unshielded, shield resistance).

If more than one value of a parameter exists in a section, the value leading to the highest value of risk is to be assumed.

6.9 Assessment of risk components in a structure with zones Z_S

6.9.1 General criteria

For the evaluation of risk components and the selection of the relevant parameters involved, the following rules apply:

- parameters relevant to the number N of dangerous events shall be evaluated according to Annex A;
- parameters relevant to the probability P of damage shall be evaluated according to Annex B.

Moreover:

- for components R_A , R_B , R_U , R_V , R_W and R_Z , only one value is to be fixed in each zone for each parameter involved. Where more than one value is applicable, the highest one shall be chosen.
- for components R_C and R_M , if more than one internal system is involved in a zone, values of P_C and P_M are given by:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (14)$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (15)$$

where P_{Ci} and P_{Mi} are parameters relevant to internal system $i = 1, 2, 3, \dots$

- parameters relevant to the amount L of loss shall be evaluated according to Annex C.

With the exception made for P_C and P_M , if more than one value of any other parameter exists in a zone, the value of the parameter leading to the highest value of risk is to be assumed.

6.9.2 Single zone structure

In this case, only one zone Z_S made up of the entire structure is defined. The risk R is the sum of risk components R_X in this zone.

Defining the structure with a single zone may lead to expensive protection measures because each measure must extend to the entire structure.

6.9.3 Multi-zone structure

In this case, the structure is divided into multiple zones Z_S . The risk for the structure is the sum of the risks relevant to all zones of the structure; in each zone, the risk is the sum of all relevant risk components in the zone.

Dividing a structure into zones allows the designer to take into account the characteristics of each part of the structure in the evaluation of risk components and to select the most suitable protection measures tailored zone by zone, reducing the overall cost of protection against lightning.

6.10 Cost-benefit analysis for economic loss (L4)

Whether or not there is need to determine protection to reduce risks R_1 , R_2 , and R_3 , it is useful to evaluate the economic justification in adopting protection measures in order to reduce the risk R_4 of economic loss.

The items for which the assessment of risk R_4 is to be performed shall be defined from

- the whole structure,
- a part of the structure,
- an internal installation,
- a part of an internal installation,
- a piece of equipment,
- the contents in the structure.

The cost of loss, the cost of the protection measures and the possible saving should be evaluated according to Annex D. If the data for this analysis are not available, the representative value of tolerable risk $R_T = 10^{-3}$ may be used.

Annex A (informative)

Assessment of annual number N of dangerous events

A.1 General

The average annual number N of dangerous events due to lightning flashes influencing a structure to be protected depends on the thunderstorm activity of the region where the structure is located and on the structure's physical characteristics. To calculate the number N , one should multiply the lightning ground flash density N_G by an equivalent collection area of the structure, taking into account correction factors for the structure's physical characteristics.

The lightning ground flash density N_G is the number of lightning flashes per km² per year. This value is available from ground flash location networks in many areas of the world.

NOTE If a map of N_G is not available, in temperate regions it may be estimated by:

$$N_G \approx 0,1 T_D \quad (\text{A.1})$$

where T_D is the thunderstorm days per year (which can be obtained from isokeraunic maps).

Events that may be considered as dangerous for a structure to be protected are

- flashes to the structure,
- flashes near the structure,
- flashes to a line entering the structure,
- flashes near a line entering the structure,
- flashes to a another structure to which a line is connected.

A.2 Assessment of the average annual number of dangerous events N_D due to flashes to a structure and N_{DJ} to an adjacent structure

A.2.1 Determination of the collection area A_D

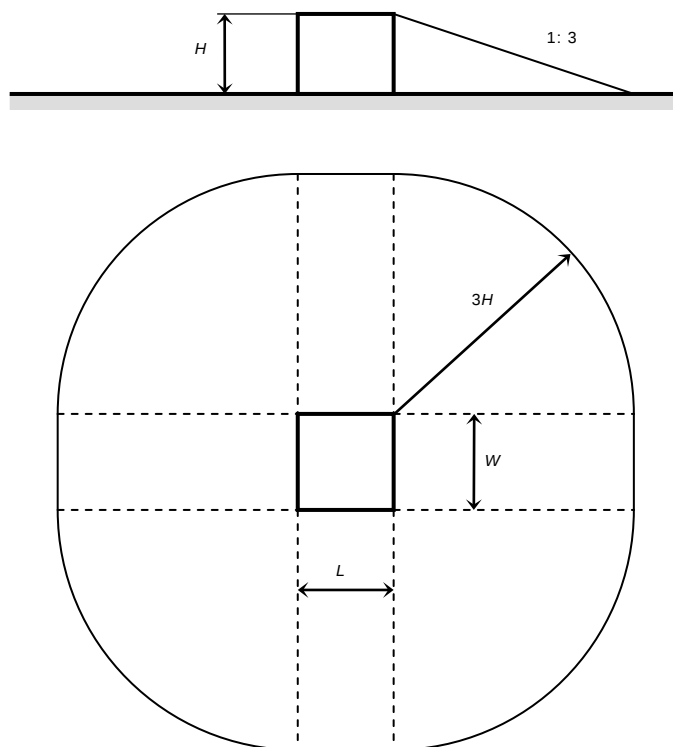
For isolated structures on flat ground, the collection area A_D is the area defined by the intersection between the ground surface and a straight line with 1/3 slope which passes from the upper parts of the structure (touching it there) and rotating around it. Determination of the value of A_D may be performed graphically or mathematically.

A.2.1.1 Rectangular structure

For an isolated rectangular structure with length L , width W , and height H on flat ground, the collection area is then equal to:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (\text{A.2})$$

where L , W and H are expressed in metres (see Figure A.1).



IEC 2637/10

Figure A.1 – Collection area A_D of an isolated structure

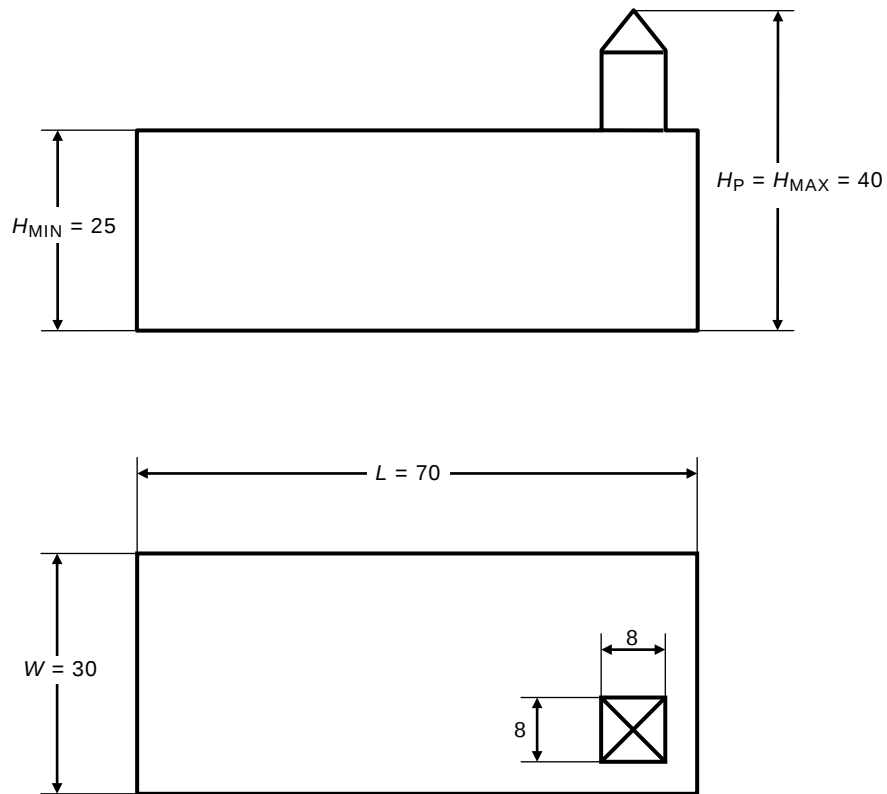
A.2.1.2 Complex shaped structure

If the structure has a complex shape such as elevated roof protrusions (see Figure A.2), a graphical method should be used to evaluate A_D (see Figure A.3).

An acceptable approximate value of the collection area is the greater between the collection area $A_{D\text{MIN}}$ evaluated with Equation (A.2) taking the minimum height H_{MIN} of the structure, and the collection area attributed to the elevated roof protrusion A_D' . A_D' may be calculated by:

$$A_D' = \pi \times (3 \times H_P)^2 \quad (\text{A.3})$$

where H_P is the height of protrusion.



IEC 2638/10

Figure A.2 – Complex shaped structure

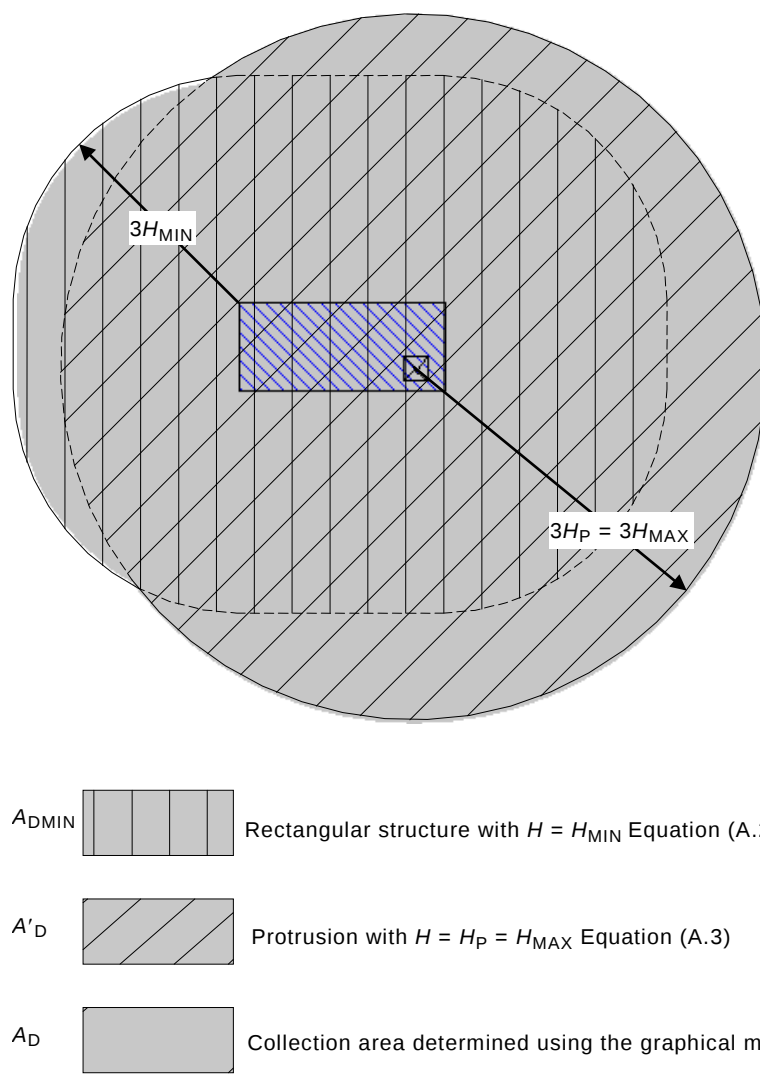


Figure A.3 – Different methods to determine the collection area for the given structure

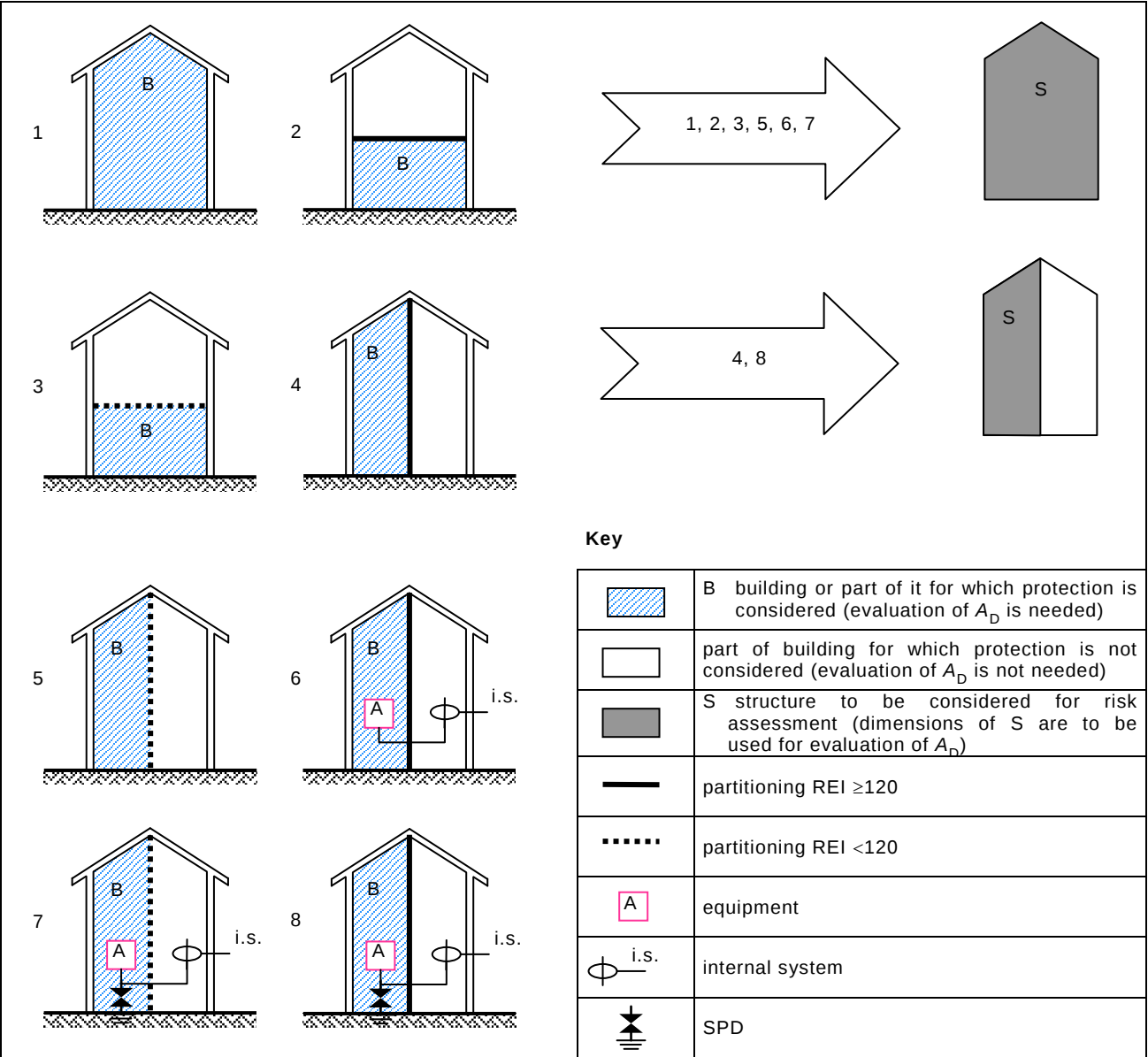
A.2.2 Structure as a part of a building

Where the structure S to be considered consists of only a part of a building B , the dimensions of structure S may be used in evaluation of A_D provided that the following conditions are fulfilled (see Figure A.4):

- the structure S is a separated vertical part of the building B ;
- the building B does not have a risk of explosion;
- propagation of fire between the structure S and other parts of the building B is avoided by means of walls with resistance to fire of 120 min (REI 120) or by means of other equivalent protection measures;
- propagation of overvoltages along common lines, if any, is avoided by means of SPDs installed at the entrance point of such lines in the structure or by means of other equivalent protection measure.

NOTE For definition and information on REI, see [6].

Where these conditions are not fulfilled, the dimensions of the whole building B should be used.



IEC 2640/10

Figure A.4 – Structure to be considered for evaluation of collection area A_D

A.2.3 Relative location of the structure

The relative location of the structure, compensating for surrounding structures or an exposed location, will be taken into account by a location factor C_D (see Table A.1).

A more precise evaluation of the surrounding objects' influence can be obtained considering the relative height of the structure with respect to the surrounding objects or the ground within a distance of $3 \times H$ from the structure and assuming $C_D = 1$.

Table A.1 – Structure location factor C_D

Relative location	C_D
Structure surrounded by higher objects	0,25
Structure surrounded by objects of the same height or smaller	0,5
Isolated structure: no other objects in the vicinity	1
Isolated structure on a hilltop or a knoll	2

A.2.4 Number of dangerous events N_D for the structure

N_D may be evaluated as the product:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

where

N_G is the lightning ground flash density ($1/\text{km}^2 \times \text{year}$);

A_D is the collection area of the structure (m^2) (see Figure A.5);

C_D is the location factor of the structure (see Table A.1).

A.2.5 Number of dangerous events N_{DJ} for an adjacent structure

The average annual number of dangerous events due to flashes to a structure connected at the far end of a line, N_{DJ} (see 6.5 and Figure A.5) may be evaluated as the product:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.5})$$

where

N_G is the lightning ground flash density ($1/\text{km}^2 \times \text{year}$);

A_{DJ} is the collection area of the adjacent structure (m^2) (see Figure A.5);

C_{DJ} is the location factor of the adjacent structure (see Table A.1);

C_T is the line type factor (see Table A.3);

A.3 Assessment of the average annual number of dangerous events N_M due to flashes near a structure

N_M may be evaluated as the product:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (\text{A.6})$$

where

N_G is the lightning ground flash density ($1/\text{km}^2 \times \text{year}$);

A_M is the collection area of flashes striking near the structure (m^2).

The collection area A_M extends to a line located at a distance of 500 m from the perimeter of the structure (see Figure A.5):

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (\text{A.7})$$

A.4 Assessment of the average annual number of dangerous events N_L due to flashes to a line

A line may consist of several sections. For each section of line, the value of N_L may be evaluated by:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.8})$$

where

N_L is the number of overvoltages of amplitude not lower than 1 kV (1/year) on the line section)

N_G is the lightning ground flash density ($1/\text{km}^2 \times \text{year}$);

A_L is the collection area of flashes striking the line (m^2) (see Figure A.5);

C_I is the installation factor of the line (see Table A.2);

C_T is the line type factor (see Table A.3);

C_E is the environmental factor (see Table A.4);

with the collection area for flashes to a line:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (\text{A.9})$$

L_L is the length of the line section (m).

Where the length of a line section is unknown, $L_L = 1\,000$ m is to be assumed.

NOTE 1 National committees may improve this information in order to better meet national conditions of power and telecommunication lines.

Table A.2 – Line installation factor C_I

Routing	C_I
Aerial	1
Buried	0,5
Buried cables running entirely within a meshed earth termination (5.2 of IEC 62305-4:2010).	0,01

Table A.3 – Line type factor C_T

Installation	C_T
LV power, telecommunication or data line	1
HV power (with HV/LV transformer)	0,2

Table A.4 – Line environmental factor C_E

Environment	C_E
Rural	1
Suburban	0,5
Urban	0,1
Urban with tall buildings ^a	0,01
^a Buildings higher than 20 m.	

NOTE 2 The ground resistivity affects the collection area A_L of buried sections. In general, the larger the ground resistivity, the larger the collection area (A_L proportional to $\sqrt{\rho}$). The installation factor of Table A.2 is based on $\rho = 400 \Omega\text{m}$.

NOTE 3 More information on the collection areas A_I for telecommunication lines can be found in ITU-T Recommendation K.47 ^[7].

A.5 Assessment of average annual number of dangerous events N_I due to flashes near a line

A line may consist of several sections. For each section of line, the value of N_I may be evaluated by

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

where

N_I is the number of overvoltages of amplitude not lower than 1 kV (1/year) on the line section;

N_G is the lightning ground flash density ($1/\text{km}^2 \times \text{year}$);

A_I is the collection area of flashes to ground near the line (m^2) (see Figure A.5);

C_I is the installation factor (see Table A.2);

C_T is the line type factor (see Table A.3);

C_E is the environmental factor (see Table A.4).

with the collection area for flashes near a line

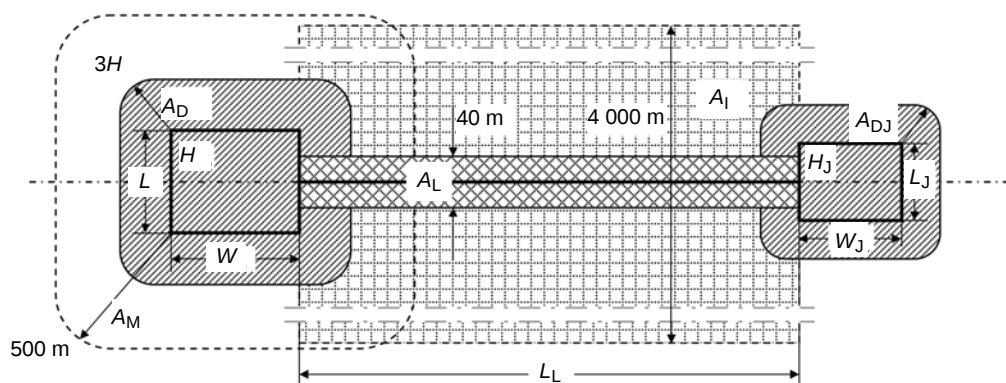
$$A_I = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

where L_L is the length of the line section (m).

Where the length of a line section is unknown, $L_L = 1\,000 \text{ m}$ is to be assumed.

NOTE 1 National committees can improve this information in order to better meet national conditions of power and telecommunication lines.

NOTE 2 A more precise evaluation of A_I can be found in Electra n. 161 ^[8] and 162 ^[9], 1995 for power lines and in ITU-T Recommendation K.46 ^[10] for telecommunications lines.



IEC 2641/10

Figure A.5 – Collection areas (A_D , A_M , A_I , A_L)

Annex B (informative)

Assessment of probability P_X of damage

B.1 General

The probabilities given in this annex are valid if protection measures conform to:

- IEC 62305-3 for protection measures to reduce injury to living beings and for protection measures to reduce physical damage;
- IEC 62305-4 for protection measures to reduce failure of internal systems.

Other values may be chosen, if justified.

Values of probabilities P_X less than 1 may be selected only if the measure or characteristic is valid for the entire structure or zone of structure (Z_S) to be protected and for all relevant equipment.

B.2 Probability P_A that a flash to a structure will cause injury to living beings by electric shock

The values of probability P_A of shock to living beings due to touch and step voltage by a lightning flash to the structure, depend on the adopted LPS and on additional protection measures provided:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

where

P_{TA} depends on additional protection measures against touch and step voltages, such as those listed in Table B.1. Values of P_{TA} are given in Table B.1.

P_B depends on the lightning protection level (LPL) for which the LPS conforming to IEC 62305-3 is designed. Values of P_B are given in Table B.2.

Table B.1 – Values of probability P_{TA} that a flash to a structure will cause shock to living beings due to dangerous touch and step voltages

Additional protection measure	P_{TA}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation (e.g. at least 3 mm cross-linked polyethylene) of exposed parts (e.g. down-conductors)	10^{-2}
Effective soil equipotentialization	10^{-2}
Physical restrictions or building framework used as a down-conductor system	0

If more than one provision has been taken, the value of P_{TA} is the product of the corresponding values.

NOTE 1 Protection measures are effective in reducing P_A only in structures protected by an LPS or structures with continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural LPS, where bonding and earthing requirements of IEC 62305-3 are satisfied.

NOTE 2 For more information see 8.1 and 8.2 of IEC 62305-3:2010.

B.3 Probability P_B that a flash to a structure will cause physical damage

An LPS is suitable as a protection measure to reduce P_B .

The values of probability P_B of physical damage by a flash to a structure, as a function of lightning protection level (LPL) are given in Table B.2.

Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage

Characteristics of structure	Class of LPS	P_B
Structure not protected by LPS	–	1
Structure protected by LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure with an air-termination system conforming to LPS I and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,01
Structure with a metal roof and an air-termination system, possibly including natural components, with complete protection of any roof installations against direct lightning strikes and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,001

NOTE 1 Values of P_B other than those given in Table B.2 are possible if based on a detailed investigation taking into account the requirements of sizing and interception criteria defined in IEC 62305-1.

NOTE 2 The characteristics of LPS, including those of SPD for lightning equipotential bonding, are reported in IEC 62305-3.

B.4 Probability P_C that a flash to a structure will cause failure of internal systems

A coordinated SPD system is suitable as a protection measure to reduce P_C .

The probability P_C that a flash to a structure will cause a failure of internal systems is given by:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (\text{B.2})$$

P_{SPD} depends on the coordinated SPD system conforming to IEC 62305-4 and to the lightning protection level (LPL) for which its SPDs are designed. Values of P_{SPD} are given in Table B.3.

C_{LD} is a factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line to which the internal system is connected. Values of C_{LD} are given in Table B.4.

Table B.3 – Value of the probability P_{SPD} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{SPD}
No coordinated SPD system	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 2	0,005 – 0,001

NOTE 1 A coordinated SPD system is effective in reducing P_C only in structures protected by an LPS or structures with continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural LPS, where bonding and earthing requirements of IEC 62305-3 are satisfied.

NOTE 2 The values of P_{SPD} may be reduced for SPDs having better protection characteristics (higher nominal current I_N , lower protective level U_P , etc.) compared with the requirements defined for LPL I at the relevant installation locations (see Table A.3 of IEC 62305-1:2010 for information on lightning current probabilities, and Annex E of IEC 62305-1:2010 and Annex D of IEC 62305-4:2010 for lightning current sharing). The same annexes may be used for SPDs having higher probabilities P_{SPD} .

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

NOTE 3 In the evaluation of probability P_C , values of C_{LD} in Table B.4 refer to shielded internal systems; for unshielded internal systems, $C_{LD} = 1$ should be assumed.

NOTE 4 For non-shielded internal systems

- not connected to external lines (stand-alone systems), or
- connected to external lines through isolating interfaces, or
- connected to external lines consisting of lightning protective cable or systems with wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes, bonded to the same bonding bar as equipment,

a coordinated SPD system according to IEC 62305-4 is not necessary to reduce P_C , provided that the induced voltage U_I is not higher than the withstand voltage U_W of the internal system ($U_I \leq U_W$). For evaluation of induced voltage U_I see Annex A of IEC 62305-4:2010.

B.5 Probability P_M that a flash near a structure will cause failure of internal systems

A grid-like LPS, screening, routing precautions, increased withstand voltage, isolating interfaces and coordinated SPD systems are suitable as protection measures to reduce P_M .

The probability P_M that a lightning flash near a structure will cause failure of internal systems depends on the adopted SPM measures.

When a coordinated SPD system meeting the requirements of IEC 62305-4 is not provided, the value of P_M is equal to the value of P_{MS} .

When a coordinated SPD system according to IEC 62305-4 is provided, the value of P_M is given by:

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \quad (B.3)$$

For internal systems with equipment not conforming to the resistibility or withstand voltage level given in the relevant product standards, $P_M = 1$ should be assumed.

The values of P_{MS} are obtained from the product:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \quad (B.4)$$

where

K_{S1} takes into account the screening effectiveness of the structure, LPS or other shields at boundary LPZ 0/1;

K_{S2} takes into account the screening effectiveness of shields internal to the structure at boundary LPZ X/Y ($X > 0$, $Y > 1$);

K_{S3} takes into account the characteristics of internal wiring (see Table B.5);

K_{S4} takes into account the impulse withstand voltage of the system to be protected.

NOTE 1 When equipment provided with isolating interfaces consisting of isolation transformers with earthed screen between windings, or of fibre optic cables or optical couplers is used, $P_{MS} = 0$ should be assumed.

Inside an LPZ, at a safety distance from the boundary screen at least equal to the mesh width w_m , factors K_{S1} and K_{S2} for LPS or spatial grid-like shields may be evaluated as

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (B.5)$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (B.6)$$

where w_{m1} (m) and w_{m2} (m) are the mesh widths of grid-like spatial shields, or of mesh type LPS down-conductors or the spacing between the structure metal columns, or the spacing between a reinforced concrete framework acting as a natural LPS.

For continuous metal shields with thicknesses not lower than 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

NOTE 2 Where a meshed bonding network is provided according to IEC 62305-4, values of K_{S1} and K_{S2} may be halved.

Where the induction loop is running closely to the LPZ boundary screen conductors at a distance from the shield shorter than the safety distance, the values of K_{S1} and K_{S2} will be higher. For instance, the values of K_{S1} and K_{S2} should be doubled where the distance to the shield ranges from $0,1 w_m$ to $0,2 w_m$.

For a cascade of LPZs the resulting K_{S2} is the product of the relevant K_{S2} of each LPZ.

NOTE 3 The maximum value of K_{S1} and K_{S2} is limited to 1.

Table B.5 – Value of factor K_{S3} depending on internal wiring

Type of internal wiring	K_{S3}
Unshielded cable – no routing precaution in order to avoid loops ^a	1
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid large loops ^b	0,2
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid loops ^c	0,01
Shielded cables and cables running in metal conduits ^d	0,000 1
^a Loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m ²). ^b Loop conductors routed in the same conduit or loop conductors with different routing in small buildings (loop area in the order of 10 m ²). ^c Loop conductors routed in the same cable (loop area in the order of 0,5 m ²). ^d Shields and the metal conduits bonded to an equipotential bonding bar at both ends and equipment is connected to the same bonding bar.	

The factor K_{S4} is evaluated as:

$$K_{S4} = 1/U_W \quad (\text{B.7})$$

where

U_W is the rated impulse withstand voltage of system to be protected, in kV.

NOTE 4 The maximum value of K_{S4} is limited to 1.

If there is equipment with different impulse withstand levels in an internal system, the factor K_{S4} relevant to the lowest impulse withstand level should be selected.

B.6 Probability P_U that a flash to a line will cause injury to living beings by electric shock

The values of probability P_U of injury to living beings inside the structure due to touch voltage by a flash to a line entering the structure depends on the characteristics of the line shield, the impulse withstand voltage of internal systems connected to the line, the protection measures like physical restrictions or warning notices and the isolating interfaces or SPD(s) provided for equipotential bonding at the entrance of the line according to IEC 62305-3.

NOTE 1 A coordinated SPD system according to IEC 62305-4 is not necessary to reduce P_U ; in this case SPD(s) according to IEC 62305-3 are sufficient.

The value of P_U is given by:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.8})$$

where

P_{TU} depends on protection measures against touch voltages, such as physical restrictions or warning notices. Values of P_{TU} are given in Table B.6;

P_{EB} depends on lightning equipotential bonding (EB) conforming to IEC 62305-3 and on the lightning protection level (LPL) for which its SPDs are designed. Values of P_{EB} are given in Table B.7;

P_{LD} is the probability of failure of internal systems due to a flash to the connected line depending on the line characteristics. Values of P_{LD} are given in Table B.8.

C_{LD} is a factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line. Values of C_{LD} are given in Table B.4.

NOTE 2 When SPD(s) according to IEC 62305-3 are provided for equipotential bonding at the entrance of the line, earthing and bonding according to IEC 62305-4 may improve protection.

Table B.6 – Values of probability P_{TU} that a flash to an entering line will cause shock to living beings due to dangerous touch voltages

Protection measure	P_{TU}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation	10^{-2}
Physical restrictions	0

NOTE 3 If more than one provision has been taken, the value of P_{TU} is the product of the corresponding values.

Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{EB}
No SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

NOTE 4 The values of P_{EB} may be reduced for SPDs having better protection characteristics (higher nominal current I_N , lower protective level U_P , etc.) compared with the requirements defined for LPL I at the relevant installation locations (see Table A.3 of IEC 62305-1:2010 for information on lightning current probabilities, and Annex E of IEC 62305-1:2010 and Annex D of IEC 62305-4:2010 for lightning current sharing). The same annexes may be used for SPDs having higher probabilities P_{EB} .

Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Routing, shielding and bonding conditions		Withstand voltage U_W in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Power lines or Telecom lines	Aerial or buried line, unshielded or shielded whose shield is not bonded to the same bonding bar as equipment		1	1	1	1	1
	Shielded aerial or buried whose shield bonded to the same bonding bar as equipment	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

NOTE 5 In suburban/urban areas, an LV power line uses typically unshielded buried cable whereas a telecommunication line uses a buried shielded cable (with a minimum of 20 conductors, a shield resistance of $5\Omega/\text{km}$, a copper wire diameter of 0,6 mm). In rural areas an LV power line uses an unshielded aerial cable whereas a telecommunication line uses an aerial unshielded cable (copper wire diameter: 1 mm). An HV buried power line uses typically a shielded cable with a shield resistance in the order of $1\Omega/\text{km}$ to $5\Omega/\text{km}$. National committees may improve this information in order to better meet national conditions of power and telecommunication lines.

B.7 Probability P_V that a flash to a line will cause physical damage

The values of probability P_V of physical damage by a flash to a line entering the structure depend on the characteristics of the line shield, the impulse withstand voltage of internal systems connected to the line and the isolating interfaces or the SPDs provided for equipotential bonding at the entrance of the line according to IEC 62305-3.

NOTE A coordinated SPD system according to IEC 62305-4 is not necessary to reduce P_V ; in this case, SPDs according to IEC 62305-3 are sufficient.

The value of P_V is given by:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.9)$$

where

P_{EB} depends on lightning equipotential bonding (EB) conforming to IEC 62305-3 and on the lightning protection level (LPL) for which its SPDs are designed. Values of P_{EB} are given in Table B.7;

P_{LD} is the probability of failure of internal systems due to a flash to the connected line depending on the line characteristics. Values of P_{LD} are given in Table B.8;

C_{LD} is a factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line. Values of C_{LD} are given in Table B.4.

B.8 Probability P_W that a flash to a line will cause failure of internal systems

The values of probability P_W that a flash to a line entering the structure will cause a failure of internal systems depend on the characteristics of line shielding, the impulse withstand voltage of internal systems connected to the line and the isolating interfaces or the coordinated SPD system installed.

The value of P_W is given by:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.10)$$

where

P_{SPD} depends on the coordinated SPD system conforming to IEC 62305-4 and the lightning protection level (LPL) for which its SPDs are designed. Values of P_{SPD} are given in Table B.3;

P_{LD} is the probability of failure of internal systems due to a flash to the connected line depending on the line characteristics. Values of P_{LD} are given in Table B.8;

C_{LD} is a factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line. Values of C_{LD} are given in Table B.4.

B.9 Probability P_Z that a lightning flash near an incoming line will cause failure of internal systems

The values of probability P_Z that a lightning flash near a line entering the structure will cause a failure of internal systems depend on the characteristics of the line shield, the impulse withstand voltage of the system connected to the line and the isolating interfaces or the coordinated SPD system provided.

The value of P_Z is given by:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (B.11)$$

where

P_{SPD} depends on the coordinated SPD system conforming to IEC 62305-4 and the lightning protection level (LPL) for which its SPDs are designed. Values of P_{SPD} are given in Table B.3;

P_{LI} is the probability of failure of internal systems due to a flash near the connected line depending on the line and equipment characteristics. Values of P_{LI} are given in Table B.9;

C_{LI} is a factor depending on shielding, grounding and isolation conditions of the line. Values of C_{LI} are given in Table B.4.

Table B.9 – Values of the probability P_{LI} depending on the line type and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Withstand voltage U_W in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Power lines	1	0,6	0,3	0,16	0,1
TLC lines	1	0,5	0,2	0,08	0,04

NOTE More precise evaluation of P_{LI} can be found in IEC/TR 62066:2002 for power lines^[10] and in ITU-T Recommendation K.46^[11] for telecommunication (TLC) lines.

Annex C (informative)

Assessment of amount of loss L_X

C.1 General

The values of amount of loss L_X should be evaluated and fixed by the lightning protection designer (or the owner of the structure). The typical mean values of loss L_X in a structure given in this annex are merely values proposed by the IEC. Different values may be assigned by each national committee or after detailed investigation.

NOTE 1 When the damage to a structure due to lightning may also involve surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions), a more detailed evaluation of L_X that takes into account this additional loss should be performed.

NOTE 2 It is recommended that the equations given in this annex be used as the primary source of values for L_X .

C.2 Mean relative amount of loss per dangerous event

The loss L_X refers to the mean relative amount of a particular type of damage for one dangerous event caused by a lightning flash, considering both its extent and effects.

The loss value L_X varies with the type of loss considered:

- L1 (Loss of human life, including permanent injury): the endangered number of persons (victims);
- L2 (Loss of public service): the number of users not served;
- L3 (Loss of cultural heritage): the endangered economic value of structure and content;
- L4 (Loss of economic values): the endangered economic value of animals, the structure (including its activities), content and internal systems,

and, for each type of loss, with the type of damage (D1, D2 and D3) causing the loss.

The loss L_X should be determined for each zone of the structure into which it is divided.

C.3 Loss of human life (L1)

The loss value L_X for each zone can be determined according to Table C.1, considering that:

- loss of human life is affected by the characteristics of the zone. These are taken into account by increasing (h_z) and decreasing (r_t , r_p , r_f) factors;
- the maximum value of loss in the zone shall be reduced by the ratio between the number of persons in the zone (n_z) versus the total number of persons (n_t) in the whole structure;
- the time in hours per year for which the persons are present in the zone (t_z), if it is lower than the total 8 760 h of a year, will also reduce the loss.

Table C.1 – Type of loss L1: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss	Equation
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.4)

where

L_T is the typical mean relative numbers of victims injured by electric shock (D1) due to one dangerous event (see Table C.2);

L_F is the typical mean relative numbers of victims by physical damage (D2) due to one dangerous event (see Table C.2);

L_O is the typical mean relative numbers of victims by failure of internal systems (D3) due to one dangerous event (see Table C.2);

r_t is a factor reducing the loss of human life depending on the type of soil or floor (see Table C.3);

r_p is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the provisions taken to reduce the consequences of fire (see Table C.4);

r_f is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the risk of fire or on the risk of explosion of the structure (see Table C.5);

h_z is a factor increasing the loss due to physical damage when a special hazard is present (see Table C.6);

n_z is the number of persons in the zone;

n_t is the total number of persons in the structure;

t_z is the time in hours per year for which the persons are present in the zone.

Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T , L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries	L_T	10^{-2}	All types
D2 physical damage	L_F	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-1}	Hospital, hotel, school, civic building
		5×10^{-2}	Public entertainment, church, museum
		2×10^{-2}	Industrial, commercial
		10^{-2}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Intensive care unit and operation block of hospital
		10^{-3}	Other parts of hospital

NOTE 1 Values of Table C.2 refer to a continuous attendance of people in the structure.

NOTE 2 In case of a structure with risk of explosion, the values for L_F and L_O may need a more detailed evaluation, considering the type of structure, the risk explosion, the zone concept of hazardous areas and the measures to meet the risk.

When the damage to a structure due to lightning involves surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions), additional loss (L_E) should be taken into account to evaluate the total loss (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (\text{C.5})$$

where

$$L_E = L_{FE} \times t_e / 8\,760 \quad (\text{C.6})$$

L_{FE} being the loss due to physical damage outside the structure;

t_e being the time of presence of people in the dangerous place outside the structure.

NOTE 3 If values of L_{FE} and t_e are unknown, $L_{FE} \times t_e / 8\,760 = 1$ should be assumed.

Table C.3 – Reduction factor r_t as a function of the type of surface of soil or floor

Type of surface ^b	Contact resistance $k \, \Omega^a$	r_t
Agricultural, concrete	≤ 1	10^{-2}
Marble, ceramic	1 – 10	10^{-3}
Gravel, moquette, carpets	10 – 100	10^{-4}
Asphalt, linoleum, wood	≥ 100	10^{-5}
^a Values measured between a 400 cm ² electrode compressed with a uniform force of 500 N and a point of infinity.		
^b A layer of insulating material, e.g. asphalt 5 cm thick (or a layer of gravel 15 cm thick) generally reduces the hazard to a tolerable level.		

Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire

Provisions	r_p
No provisions	1
One of the following provisions: extinguishers; fixed manually operated extinguishing installations; manual alarm installations; hydrants; fire compartments; escape routes	0,5
One of the following provisions: fixed automatically operated extinguishing installations; automatic alarm installations ^a	0,2
^a Only if protected against overvoltages and other damages and if firemen can arrive in less than 10min.	

If more than one provision has been taken, the value of r_p should be taken as the lowest of the relevant values.

In structures with risk of explosion, $r_p = 1$ for all cases.

Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure

Risk	Amount of risk	r_f
Explosion	Zones 0, 20 and solid explosive	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Fire	High	10^{-1}
	Ordinary	10^{-2}
	Low	10^{-3}
Explosion or fire	None	0

NOTE 4 In case of a structure with risk of explosion, the value for r_f may need a more detailed evaluation.

NOTE 5 Structures with a high risk of fire may be assumed to be structures made of combustible materials or structures with roofs made of combustible materials or structures with a specific fire load larger than 800 MJ/m².

NOTE 6 Structures with an ordinary risk of fire may be assumed to be structures with a specific fire load between 800 MJ/m² and 400 MJ/m².

NOTE 7 Structures with a low risk of fire may be assumed to be structures with a specific fire load less than 400 MJ/m², or structures containing only a small amount of combustible material.

NOTE 8 Specific fire load is the ratio of the energy of the total amount of the combustible material in a structure and the overall surface of the structure.

NOTE 9 For the purposes of this part of IEC 62305, structures containing hazardous zones or containing solid explosive materials should not be assumed to be structures with a risk of explosion if any one of the following conditions is fulfilled:

- the time of presence of explosive substances is lower than 0,1 h/year;
- the volume of explosive atmosphere is negligible according to IEC 60079-10-1^[2] and IEC 60079-10-2^[3];
- the zone cannot be hit directly by a flash and dangerous sparking in the zone is avoided.

NOTE 10 For hazardous zones enclosed within metallic shelters, condition c) is fulfilled when the shelter, as a natural air-termination system, acts safely without puncture or hot-spot problems, and internal systems inside the shelter, if any, are protected against overvoltages to avoid dangerous sparking.

Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard

Kind of special hazard	h_z
No special hazard	1
Low level of panic (e.g. a structure limited to two floors and the number of persons not greater than 100)	2
Average level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants between 100 and 1 000 persons)	5
Difficulty of evacuation (e.g. structures with immobile persons, hospitals)	5
High level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants – greater than 1 000 persons)	10

C.4 Unacceptable loss of service to the public (L2)

The loss value L_x for each zone can be determined according to Table C.7, considering that:

- loss of public service is affected by the characteristics of the zone of the structure. These are taken into account by decreasing (r_f , r_p) factors;
- the maximum value of loss due to the damage in the zone must be reduced by the ratio between the number of users served by the zone (n_z) versus the total number of users (n_t) served by the whole structure.

Table C.7 – Type of loss L2: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss	Equation
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

where

- L_F is the typical mean relative number of users not served, resulting from physical damage (D2) due to one dangerous event (see Table C.8);
- L_O is the typical mean relative numbers of users not served resulting from failure of internal systems (D3) due to one dangerous event (see Table C.8);
- r_p is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the provisions taken to reduce the consequences of fire (see Table C.4);

- r_f is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the risk of fire (see Table C.5);
- n_z is the number of users served by the zone;
- n_t is the total number of users served by the structure.

Table C.8 – Type of loss L2: Typical mean values of L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value	Type of service
D2 physical damage	L_F	10^{-1} Gas, water, power supply
		10^{-2} TV, telecommunications lines
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-2} Gas, water, power supply
		10^{-3} TV, telecommunications lines

C.5 Loss of irreplaceable cultural heritage (L3)

The loss value L_X for each zone can be determined according to Table C.9, considering that:

- loss of cultural heritage is affected by the characteristics of the zone. These are taken into account by decreasing (r_f , r_p) factors;
- the maximum value of loss due to the damage of the zone must be reduced by the ratio between the value of the zone (c_z) versus the total value (c_t) of the whole structure (building and content).

Table C.9 – Type of loss L3: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss value	Equation
D2 physical damage	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

where

L_F is the typical mean relative value of all goods damaged by physical damage (D2) due to one dangerous event (see Table C.10);

r_p is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the provisions taken to reduce the consequences of fire (see Table C.4);

r_f is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the risk of fire (see Table C.5);

c_z is the value of cultural heritage in the zone;

c_t is the total value of building and content of the structure (sum over all zones).

Table C.10 – Type of loss L3: Typical mean value of L_F

Type of damage	Typical loss value	Type of structure or zone
D2 physical damage	L_F	10^{-1} Museums, galleries

C.6 Economic loss (L4)

The loss value L_X for each zone can be determined according to Table C.11, considering that:

- loss of economic values is affected by the characteristics of the zone. These are taken into account by decreasing (r_t , r_p , r_f) factors;
- the maximum value of loss due to the damage of the zone must be reduced by the ratio between the relevant value in the zone versus the total value (c_t) of the whole structure

(animals, building, content and internal systems including their activities). The relevant value of the zone depends on the type of damage:

D1 (injuries of animals due to shock):	c_a (value of animals only)
D2 (physical damage):	$c_a + c_b + c_c + c_s$ (value of all goods)
D3 (failures of internal systems):	c_s (value of internal systems and their activities only)

Table C.11 – Type of loss L4: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss	Equation
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)
^a The ratios c_a / c_t and $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ and c_s / c_t have only to be considered in the eq. (C.10) – (C.13), if the risk assessment is conducted in accordance with 6.10, using Annex D. In case of using a representative value for the tolerable risk R4 in accordance with Table 4, the ratios do not have to be taken into account. In these cases, the ratios have to be replaced by the value 1.		

where

- L_T is the typical mean relative value of all goods damaged by electric shock (D1) due to one dangerous event (see Table C.12);
- L_F is the typical mean relative value of all goods damaged by physical damage (D2) due to one dangerous event (see Table C.12);
- L_O is the typical mean relative value of all goods damaged by failure of internal systems (D3) due to one dangerous event (see Table C.12);
- r_t is a factor reducing the loss of animals depending on the type of soil or floor (see Table C.3);
- r_p is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the provisions taken to reduce the consequences of fire (see Table C.4);
- r_f is a factor reducing the loss due to physical damage depending on the risk of fire or on the risk of explosion of the structure (see Table C.5);
- c_a is the value of animals in the zone;
- c_b is the value of building relevant to the zone;
- c_c is the value of content in the zone;
- c_s is the value of internal systems including their activities in the zone;
- c_t is the total value of the structure (sum over all zones for animals, building, content and internal systems including their activities).

Table C.12 – Type of loss L4: Typical mean values of L_T , L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries due to shock	L_T	10^{-2}	All types where only animals are present
D2 physical damage	L_F	1	Risk of explosion
		0,5	Hospital, industrial, museum, agricultural
		0,2	Hotel, school, office, church, public entertainment, commercial
		10^{-1}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Hospital, industrial, office, hotel, commercial
		10^{-3}	Museum, agricultural, school, church, public entertainment
		10^{-4}	Others

NOTE 1 In structures where there is a risk of explosion, the values for L_F and L_O may need more detailed evaluation, where consideration of the type of structure, the risk explosion, the zone concept of hazardous areas and the measures to meet the risk, etc. are addressed.

When the damage to a structure due to lightning involves surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions), additional loss (L_E) should be taken into account to evaluate the total loss (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (\text{C.14})$$

where

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad (\text{C.15})$$

L_{FE} is the loss due to physical damage outside the structure;

c_e is the total value of goods in dangerous place outside the structure.

NOTE 2 If the value of L_{FE} is unknown, $L_{FE} = 1$ should be assumed.

Annex D (informative)

Evaluation of costs of loss

The cost of loss C_{LZ} in a zone may be calculated by the following equation:

$$C_{LZ} = R_{4Z} \times c_t \quad (D.1)$$

where

R_{4Z} is the risk related to loss of value in the zone, without protection measures;

c_t is the total value of the structure (animals, building, content and internal systems including their activities in currency).

The cost of total loss C_L in the structure may be calculated by the following equation:

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad (D.2)$$

where

$R_4 = \sum R_{4Z}$ is the risk related to loss of value, without protection measures.

The cost C_{RLZ} of residual loss in a zone in spite of protection measures may be calculated by means of the equation:

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \times c_t \quad (D.3)$$

where

R'_{4Z} is the risk related to loss of value in the zone, with protection measures.

The total cost C_{RL} of residual loss in the structure in spite of protection measures may be calculated by means of the equation:

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R'_4 \times c_t \quad (D.4)$$

where

$R'_4 = \sum R'_{4Z}$ is the risk related to loss of value in the structure, with protection measures.

The annual cost C_{PM} of protection measures may be calculated by means of the equation:

$$C_{PM} = C_P \times (i + a + m) \quad (D.5)$$

where

C_P is the cost of protection measures;

i is the interest rate;

a is the amortization rate;

m is the maintenance rate.

The annual saving S_M in money is:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (D.6)$$

Protection is justified if the annual saving $S_M > 0$.

Annex E (informative)

Case study

E.1 General

In Annex E case studies relevant to a country house, an office building, a hospital and an apartment block are developed with the aim of showing

- how to calculate the risk and determine the need for protection,
- the contribution of different risk components to the overall risk,
- the effect of different protection measures to mitigate the risk,
- the method of selection from among different protection solutions taking into account the cost-effectiveness.

NOTE This annex presents hypothetical data for all cases. It is intended to provide information about risk evaluation in order to illustrate the principles contained in this part of IEC 62305. It is not intended to address the unique aspects of the conditions that exist in all facilities or systems.

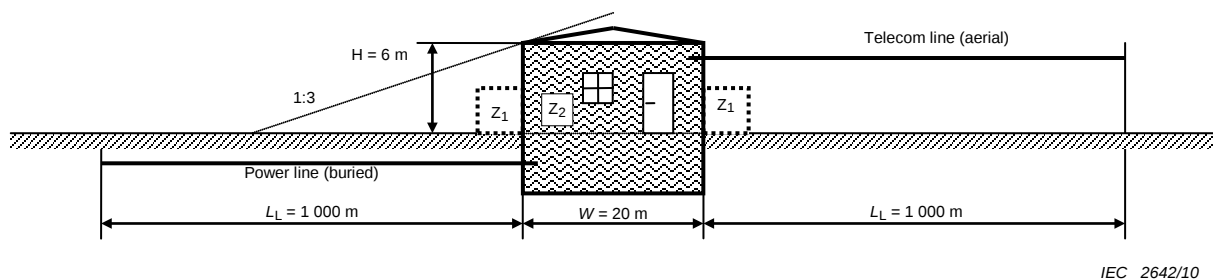
E.2 Country house

As a first case study a country house (Figure E.1) is considered.

Loss of human life (L1) and economic loss (L4) are relevant for this type of structure.

It is required to evaluate the need for protection. This implies the need to determine only the risk R_1 for loss of human life (L1) with the risk components R_A , R_B , R_U and R_V (according to Table 2) and to compare it with the tolerable risk $R_T = 10^{-5}$ (according to Table 4). Suitable protection measures to mitigate such risk will be selected.

Following the decision taken by the owner that an economic evaluation is not required, the risk R_4 for economic loss (L4) is not considered.



Key

Z_1 : outside

Z_2 : rooms block

Figure E.1 – Country house

E.2.1 Relevant data and characteristics

The country house is located in flat territory without any neighbouring structures. The lightning flash density is $N_G = 4$ flashes per km^2 per year. Five persons live in the house. This is also the total number of persons to be considered, because it is assumed that there is no person outside the house during thunderstorm.

Data for the house and its surroundings are given in Table E.1.

Data for the incoming lines and their internal systems connected to are given for the power line in Table E.2 and for the telecom line in Table E.3.

Table E.1 – Country house: Environment and structure characteristics

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground flash density (1/km ² /year)		N_G	4,0	
Structure dimensions (m)		L, W, H	15, 20, 6	
Location factor of structure	Isolated structure	C_D	1	Table A.1
LPS	None	P_B	1	Table B.2
Equipotential bonding	None	P_{EB}	1	Table B.7
External spatial shield	None	K_{S1}	1	Equation (B.5)

Table E.2 – Country house: Power line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m) ^a		L_L	1 000	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	LV line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Rural	C_E	1	Table A.4
Shield of line	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	2,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,4	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,3	Table B.9

^a As the length L_L of the line section is unknown, $L_L = 1\,000$ m is assumed (Clause A.4 and Clause A.5).

Table E.3 – Country house: Telecom line (TLC)

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m) ^a		L_L	1 000 m	
Installation factor	Aerial	C_I	1	Table A.2
Line type factor	Telecom line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Rural	C_E	1	Table A.4
Shield of line	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of structure	Isolated structure	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal		U_W	1,5	

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
system (kV)				
	Resulting parameters	K_{S4}	0,67	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,5	Table B.9
^a As the length L_L of the line section is unknown, $L_L = 1\ 000\ \text{m}$ is assumed (Clause A.4 and Clause A.5).				

E.2.2 Definition of zones in the country house

The following main zones may be defined:

- Z_1 (outside the building);
- Z_2 (inside the building).

For zone Z_1 it is assumed, that no people are outside the building. Therefore the risk of shock of people $R_A = 0$. Because R_A is the only risk component outside the building, zone Z_1 can be disregarded completely.

Inside the building only one zone Z_2 is defined, taking into account that

- both internal systems (power and telecom) extend throughout the building,
- no spatial shields exist,
- the structure is a unique fireproof compartment,
- losses are assumed to be constant in all the building and to correspond to the typical mean values of Table C.1.

The resulting factors valid for zone Z_2 are reported in Table E.4.

Table E.4 – Country house: Factors valid for zone Z_2 (inside the building)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.6
Risk of fire		Low	r_f	10^{-3}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (large loops >10 m ²)	K_{S3}	1	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: none	h_z	1	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	10^{-1}	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for persons in zone		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 5/5 \times 8\,760/8\,760$	–	1	
			L_A	10^{-7}	Equation (C.1)

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
	Resulting parameters	L_U	10^{-7}	Equation (C.2)
		L_B	10^{-4}	Equation (C.3)
		L_V	10^{-4}	Equation (C.3)

E.2.3 Calculation of relevant quantities

Calculations are given in Table E.5 for the collection areas and in Table E.6 for the expected number of dangerous events.

Table E.5 – Country house: Collection areas of structure and lines

	Symbol	Result m ²	Reference Equation	Equation
Structure	A_D	$2,58 \times 10^3$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Not relevant
Power line	$A_{L/P}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	No adjacent structure
Telecom line	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/T} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0	(A.2)	No adjacent structure

Table E.6 – Country house: Expected annual number of dangerous events

	Symbol	Result 1/year	Reference Equation	Equation
Structure	N_D	$1,03 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Not relevant
Power line	$N_{L/P}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8,00	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	No adjacent structure
Telecom line	$N_{L/T}$	$1,60 \times 10^{-1}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	0	(A.5)	No adjacent structure

E.2.4 Risk R_1 – Determination of need of protection

The risk R_1 can be expressed according to Equation (1) by the following sum of components:

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U/P} + R_{V/P} + R_{U/T} + R_{V/T}$$

Risk components are to be evaluated according to Table 6.

Involved components and total risk evaluation are given in Table E.7.

Table E.7 – Country house: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$)

	Symbol	Z_1	Z_2	Structure
D1 Injury	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,002	0,002
D2 Physical damage	R_B		0,103	0,103
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolerable		$R_1 > R_T$: Lightning protection is required		$R_T = 1$

Because $R_1 = 2,51 \times 10^{-5}$ is higher than the tolerable value $R_T = 10^{-5}$, lightning protection for the structure is required.

E.2.5 Risk R_1 – Selection of protection measures

According to Table E.7 the main contributions to the value of risk are given by:

- component R_V (lightning flash to lines) of 96 %;
- component R_B (lightning flash to structure) of 4 %.

To reduce the risk R_1 to a tolerable value, the protective measures influencing the components R_V and R_B should be considered. Suitable measures include:

- installing SPDs of LPL IV at the line entrance (lightning equipotential bonding) to protect both power and telephone lines in the house. According to Table B.7 this reduces the value of P_{EB} (due to SPDs on connected lines) from 1 to 0,05 and the values of P_U and P_V by the same factor;
- installing an LPS of class IV (including mandatory lightning equipotential bonding). According to Tables B.2 and B.7 this reduces the value of P_B from 1 to 0,2 and the value of P_{EB} (due to SPDs on connected lines) from 1 to 0,05 and finally the values of P_U and P_V by the same factor.

Inserting these values into the equations, new values of risk components are obtained, as shown in Table E.8.

Table E.8 – Country house: Risk components relevant to risk R_1 for protected structure

Type of damage	Symbol	Result case a) $\times (10^{-5})$	Result case b) $\times (10^{-5})$
D1 Injury due to shock	R_A	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	≈ 0	≈ 0
D2 Physical damage	R_B	0,103	0,021
	R_V	0,120	0,120
Total	R_1	0,223	0,141

The choice of solution is decided on economic and technical factors.

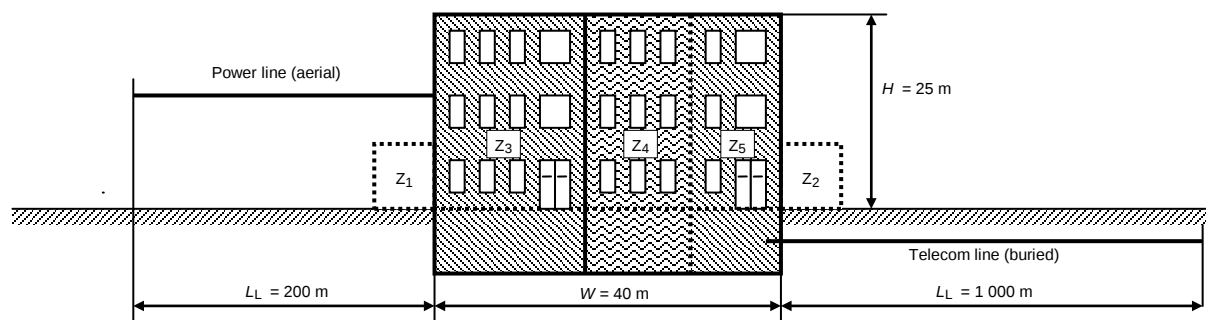
E.3 Office building

As a second case study, an office building with an archive, offices and a computer centre is considered (Figure E.2).

Loss of human life (L1) and economic loss (L4) are relevant for this type of structure.

It is required to evaluate the need for protection. This implies the determination of only the risk R_1 for loss of human life (L1) with the risk components R_A , R_B , R_U and R_V (according to Table 2) and to compare it with the tolerable risk $R_T = 10^{-5}$ (according to Table 4). Suitable protection measures will be selected to reduce the risk to or below the tolerable risk.

Following the decision taken by the owner, an economic evaluation is not requested; therefore, the risk R_4 for economic loss (L4) is not considered.



IEC 2643/10

Key

Z₁: entrance (outside)

Z₂: garden (inside)

Z₃: archive

Z₄: offices

Z₅: computer centre

Figure E.2 – Office building

E.3.1 Relevant data and characteristics

The office building is located in flat territory without any neighbouring structures. The lightning flash density is $N_G = 4$ flashes per km² per year.

Data for the building and its surroundings are given in Table E.9.

Data for the incoming lines and their connected internal systems are given for the power line in Table E.10 and for the telecom line in Table E.11.

Table E.9 – Office building: Environment and structure characteristics

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground flash density (1/km ² /year)		N_G	4,0	
Structure dimensions (m)		L, W, H	20, 40, 25	
Location factor of structure	Isolated structure	C_D	1	Table A.1
LPS	None	P_B	1	Table B.2
Equipotential bonding	None	P_{EB}	1	Table B.7
External spatial shield	None	K_{S1}	1	Equation (B.5)

Table E.10 – Office building: Power line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	200	
Installation factor	Aerial	C_I	1	Table A.2
Line type factor	LV line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Rural	C_E	1	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of adjacent structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	2,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,4	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,3	Table B.9

Table E.11 – Office building: Telecom line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	1 000	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	Telecom line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Rural	C_E	1	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of adjacent structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	1,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,67	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,5	Table B.9

E.3.2 Definition of zones in the office building

The following zones are defined:

- Z_1 (entrance area outside);
- Z_2 (garden outside);
- Z_3 (archive);
- Z_4 (offices);
- Z_5 (computer centre);

taking into account that:

- the type of surface is different in the entrance area outside, the garden outside and inside the structure;
- the structure is divided into two separate fireproof compartments: the first is the archive (Z_3) and the second is the offices together with the computer centre (Z_4 and Z_5);
- in all inner zones, Z_3 , Z_4 and Z_5 , internal systems connected to power as well as to telecom lines exist;
- no spatial shields exist.

In the different zones inside and outside the office building, a total number of 200 persons shall be considered.

The number of persons related to each zone is different. The distribution into the individual zones is shown in Table E.12. These values are used later to subdivide the total loss values into fractions for each zone.

Table E.12 – Office building: Distribution of persons into zones

Zone	Number of persons	Time of presence
Z_1 (entrance outside)	4	8 760
Z_2 (garden outside)	2	8 760
Z_3 (archive)	20	8 760
Z_4 (offices)	160	8 760
Z_5 (computer centre)	14	8 760
Total	$n_t = 200$	–

Following the evaluation by the lightning protection designer, the typical mean values of relative amount of loss per year relevant to risk R_1 (see Table C.1) for the whole structure are

- $L_T = 10^{-2}$ (outside the structure),
- $L_T = 10^{-2}$ (inside the structure),
- $L_F = 0,02$ classified as “commercial building”.

These global values were reduced for each zone according to the number of people endangered in the individual zone related to the total number of people considered.

The resulting characteristics of zones Z_1 to Z_5 are given in Tables E.13 to E.17.

Table E.13 – Office building: Factors valid for zone Z₁ (entrance area outside)

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground surface	Marble	r_t	10^{-3}	Table C.3
Protection against shock	None	P_{TA}	1	Table B.1
Risk of fire	None	r_f	0	Table C.5
Fire protection	None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield	None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
L1: Loss of human life	Special hazard: none	h_z	1	Table C.6
	D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
	D2: due to physical damage	L_F	–	
	D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for persons in zone	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 4/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,02	

Table E.14 – Office building: Factors valid for zone Z₂ (garden outside)

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground surface	Grass	r_t	10^{-2}	Table C.3
Protection against shock	Fence	P_{TA}	0	Table B.1
Risk of fire	None	r_f	0	Table C.5
Fire protection	None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield	None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
L1: Loss of human life	Special hazard: none	h_z	1	Table C.6
	D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
	D2: due to physical damage	L_F	–	
	D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for persons in zone	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 2/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,01	

Table E.15 – Office building: Factors valid for zone Z₃ (archive)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.6
Risk of fire		High	r_f	10^{-1}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (large loops >10m ²)	K_{S3}	1	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: low panic	h_z	2	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	0,02	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for endangered persons		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 20/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,10	

Table E.16 – Office building: Factors valid for zone Z₄ (offices)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.6
Risk of fire		Low	r_f	10^{-3}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (large loops >10 m ²)	K_{S3}	1	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: low panic	h_z	2	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	0,02	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for persons in zone		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 160/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,80	

Table E.17 – Office building: Factors valid for zone Z₅ (computer centre)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock		None	P_{TA}	1	Table B.1

(flash to structure)					
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.6
Risk of fire		Low	r_f	10^{-3}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (large loops >10 m ²)	K_{S3}	1	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: low panic	h_z	2	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	0,02	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	–	
Factor for persons in zone		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 14/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,07	

E.3.3 Calculation of relevant quantities

Calculations are given in Table E.18 for the collection areas and in Table E.19 for the expected number of dangerous events.

Table E.18 – Office building: Collection areas of structure and lines

	Symbol	Result m ²	Reference Equation	Equation
Structure	A_D	$2,75 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Not relevant
Power line	$A_{L/P}$	$8,00 \times 10^3$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
		$8,00 \times 10^5$	(A.11)	Not relevant
	$A_{DA/P}$	0	(A.2)	No adjacent structure
Telecom line	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	Not relevant
	$A_{DA/T}$	0	(A.2)	No adjacent structure

Table E.19 – Office building: Expected annual number of dangerous events

	Symbol	Result 1/year	Reference Equation	Equation
Structure	N_D	$1,10 \times 10^{-1}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Not relevant
Power line	$N_{L/P}$	$3,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	3,20	(A.10)	Not relevant
	$N_{DA/P}$	0	(A.5)	No adjacent structure
Telecom line	$N_{L/T}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	8,00	(A.10)	Not relevant
	$N_{DA/T}$	0	(A.5)	No adjacent structure

E.3.4 Risk R_1 – Decision on need for protection

Values of the risk components for the unprotected structure are reported in Table E.20.

Table E.20 – Office building: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$)

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Structure
D1 Injury due to shock	R_A	0,002	0	≈ 0	0,001	≈ 0	0,003
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$			≈ 0	0,001	≈ 0	0,001
D2 Physical damage	R_B			4,395	0,352	0,031	4,778
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$			4,480	0,358	0,031	4,870
Total		0,002	0	8,876	0,712	0,062	$R_1 = 9,65$
Tolerable		$R_1 > R_T$: Lightning protection is required					$R_T = 1$

Because $R_1 = 9,65 \times 10^{-5}$ is higher than the tolerable value $R_T = 10^{-5}$, lightning protection for the structure is required.

E.3.5 Risk R_1 – Selection of protection measures

The risk R_1 in the structure is mainly concentrated in zone Z_3 due to physical damages caused by lightning striking the structure or the connected lines (components $R_B \approx 49\%$ and $R_V \approx 50\%$ together cover 99 % of the total risk) (see Table E.20).

These dominant risk components can be reduced by:

- providing the whole building with an LPS conforming to IEC 62305-3, reducing component R_B via probability P_B . Lightning equipotential bonding at the entrance – a mandatory requirement of the LPS – also reduces the components R_U and R_V via probability P_{EB} ;
- providing zone Z_3 (archive) with protection measures against the consequences of fire (such as extinguishers, automatic fire detection system, etc.). This will reduce the components R_B and R_V via the reduction factor r_p ;
- providing lightning equipotential bonding conforming to IEC 62305-3 at the entrance of the building. This will reduce only the components R_U and R_V via probability P_{EB} .

By combining different elements of these protective measures, the following solutions could be adopted:

Solution a)

- Protect the building with a Class III LPS conforming to IEC 62305-3, to reduce component R_B ($P_B = 0,1$).
- This LPS includes the mandatory lightning equipotential bonding at the entrance with SPDs designed for LPL III ($P_{EB} = 0,05$) and reduces components R_U and R_V .

Solution b)

- Protect the building with a Class IV LPS conforming to IEC 62305-3 to reduce component R_B ($P_B = 0,2$).
- This LPS includes the mandatory lightning equipotential bonding at the entrance with SPDs designed for LPL IV ($P_{EB} = 0,05$) and reduces components R_U and R_V .
- Use fire extinguishing (or detection) systems to reduce components R_B and R_V . Install a manual system in the zone Z_3 (archive) ($r_p = 0,5$).

For both solutions, the risk values from Table E.20 will change to the reduced values reported in Table E.21.

Table E.21 – Office building: Risk R_1 for the protected structure (values $\times 10^{-5}$)

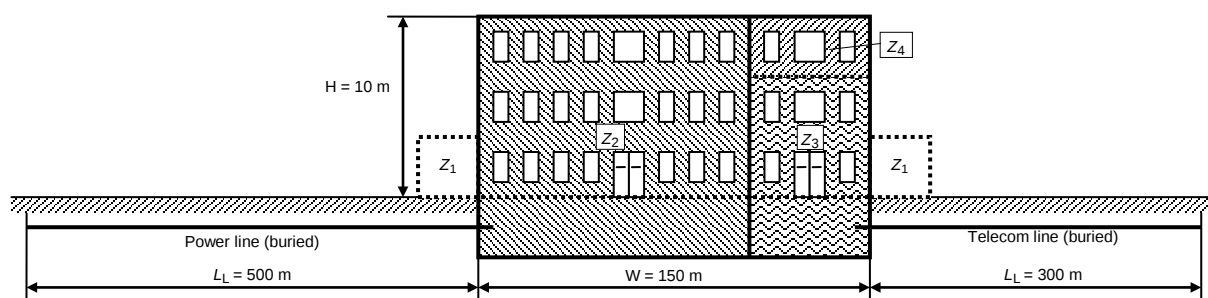
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Total	Tolerable	Result
Solution a)	≈ 0	0	0,664	0,053	0,005	$R_1 = 0,722$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$
Solution b)	≈ 0	0	0,552	0,089	0,008	$R_1 = 0,648$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$

Both solutions reduce the risk to below the tolerable value. The solution to be adopted is subject to both the best technical criteria and the most cost-effective solution.

E.4 Hospital

As a more complex case, this study considers a standard hospital facility with a rooms block, an operating block and an intensive care unit.

Loss of human life (L1) and economic loss (L4) are relevant for this type of facility. It is necessary to evaluate the need for protection and the cost effectiveness of protection measures; these require the evaluation of risks R_1 and R_4 .



IEC 2644/10

Key

Z_1 : outside

Z_2 : rooms block

Z_3 : operation block

Z_4 : intensive care unit

Figure E.3 – Hospital

E.4.1 Relevant data and characteristics

The hospital is located in flat territory without any neighbouring structures. The lightning flash density is $N_G = 4$ flashes per km^2 per year.

Data for the building and its surroundings are given in Table E.22.

Data for the incoming lines and their internal systems connected thereto are given for the power line in Table E.23 and for the telecom line in Table E.24.

Table E.22 – Hospital: Environment and global structure characteristics

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground flash density ($1/\text{km}^2/\text{year}$)		N_G	4,0	
Structure dimensions (m)		L, W, H	50, 150, 10	

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Location factor of structure	Isolated structure	C_D	1	Table A.1
LPS	None	P_B	1	Table B.2
Equipotential bonding	None	P_{EB}	1	Table B.7
External spatial shield	None	K_{S1}	1	Equation (B.5)

Table E.23 – Hospital: Power line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	500	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	HV power (with HV/LV transformer)	C_T	0,2	Table A.3
Environmental factor	Suburban	C_E	0,5	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Line shield bonded to the same bonding bar as equipment	R_S	$R_S \leq 1$	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	Line shield bonded to the same bonding bar as equipment	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	0	
Adjacent structure (m)	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of adjacent structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	2,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,4	Equation (B.7)
		P_{LD}	0,2	Table B.8
		P_{LI}	0,3	Table B.9

Table E.24 – Hospital: Telecom line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	300	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	Telecom line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Suburban	C_E	0,5	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Line shield bonded to the same bonding bar as equipment	R_S	$1 < R_S \leq 5$	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	Line shield bonded to the same bonding bar as equipment	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	0	
Adjacent structure (m)	Length, width, height	L_J, W_J, H_J	20, 30, 5	
Location factor of adjacent structure	Isolated structure	C_{DJ}	1	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	1,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,67	Equation (B.7)
		P_{LD}	0,8	Table B.8
		P_{LI}	0,5	Table B.9

E.4.2 Definition of zones in the hospital

The following zones are defined:

Z_1 (outside building);
 Z_2 (rooms block);
 Z_3 (operating block);
 Z_4 (intensive care unit);

taking into account the following:

- the type of surface is different outside the structure from that inside the structure;
- two separate fire proof compartments exist: the first is the rooms block (Z_2) and the second is the operating block together with the intensive care unit (Z_3 and Z_4);
- in all inner zones Z_2 , Z_3 and Z_4 , internal systems connected to power as well as to telecom lines exist;
- no spatial shields exist;
- the intensive care unit contains extensive sensitive electronic systems and a spatial shield may be adopted as protection measure.

In the different zones inside and outside the hospital a total number of 1 000 persons shall be considered.

The number of persons, the times of presence and the economic values related to each zone are different. The distribution into the individual zones and the total values are shown in Table E.25. These values are later used to subdivide the total loss values into fractions for each zone.

Table E.25 – Hospital: Distribution of persons and of economic values into zones

Zone	Number of persons	Time of presence (h/y)	Economic values in \$ x 10 ⁶				
			Animals c_a	Building c_b	Content c_c	Internal systems c_s	Total c_t
Z_1 (outside building)	10	8 760	–	–	–	–	–
Z_2 (rooms block)	950	8 760	–	70	6	3,5	79,5
Z_3 (operating block)	35	8 760	–	2	0,9	5,5	8,4
Z_4 (intensive care unit)	5	8 760	–	1	0,1	1,0	2,1
Total	$n_t = 1\ 000$	–	0	73	7	10	90,0

For risk R_1 , following the evaluation by the lightning protection designer, the basic loss values (typical mean values of relative amount of loss per year) according to Table C.2 and the increasing factor for special hazards according to Table C.6 are as follows:

- $L_T = 10^{-2}$ in zone Z_1 outside the structure;
- $L_T = 10^{-2}$ in zones Z_2 , Z_3 , Z_4 inside the structure;
- $L_F = 10^{-1}$ in zones Z_2 , Z_3 , Z_4 inside the structure;
- $h_z = 5$ in zones Z_2 , Z_3 , Z_4 inside the structure due to difficulty of evacuation;
- $L_O = 10^{-3}$ in zone Z_2 (rooms block);
- $L_O = 10^{-2}$ in zone Z_3 (operating block) and zone Z_4 (intensive care unit).

These basic loss values were reduced for each zone according to Equations (C.1) to (C.4), taking into account the number of people endangered in the individual zone related to the total number of people considered and the time when people are present.

For risk R_4 , the basic loss values according to Table C.12 are as follows:

- $L_T = 0$ no animals endangered;
- $L_F = 0,5$ in zones Z_2, Z_3, Z_4 inside the structure;
- $L_O = 10^{-2}$ in zones Z_2, Z_3, Z_4 inside the structure.

These basic loss values were reduced for each zone according to Equations (C.11) to (C.13), taking into account the value endangered in the individual zone related to the total value of the structure (animals, building, content, internal systems and activities) considered. The value endangered in an individual zone depends on the type of damage:

- D1 (injury by electric shock): value c_a of animals only;
- D2 (physical damage): sum of all values $c_a + c_b + c_c + c_s$;
- D3 (failure of internal system): value c_s of internal systems and their activities only.

The resulting characteristics of the zones Z_1 to Z_4 are given in Tables E.26 to E.29.

Table E.26 – Hospital: Factors valid for zone Z_1 (outside the building)

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground surface	Concrete	r_t	10^{-2}	Table C.3
Protection against shock	None	P_{TA}	1	Table B.1
Risk of fire	None	r_f	0	Table C.5
Fire protection	None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield	None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
L1: Loss of human life	Special hazard: None	h_z	1	Table C.5
	D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
	D2: due to physical damage	L_F	0	
	D3: due to failure of internal systems	L_O	0	
Factor for persons in zone	$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 10 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	–	0,01	

Table E.27 – Hospital: Factors valid for zone Z_2 (rooms block)

Input parameter		Comment	Symb ol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.9
Risk of fire		Ordinary	r_f	10^{-2}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same cable)	K_{S3}	0,01	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: difficulty of evacuation	h_z	5	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	10^{-1}	

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
	D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-3}	
Factor for persons in zone	$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 950 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	–	0,95	
L4: Economic loss	D2: due to physical damage	L_F	0,5	Table C.12
	D2: Factor $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 79,5 / 90$	–	0,883	
	D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-2}	
	D3: Factor $c_s / c_t = 3,5 / 90$	–	0,039	

Table E.28 – Hospital: Factors valid for zone Z_3 (operating block)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.9
Risk of fire		Low	r_f	10^{-3}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power line	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom line	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same cable)	K_{S3}	0,01	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: difficulty of evacuation	h_z	5	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	10^{-1}	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-2}	
Factor for persons in zone		$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 35 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	–	0,035	
L4: Economic loss		D2: due to physical damage	L_F	0,5	Table C.12
		D2: Factor $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 8,4 / 90$	–	0,093	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-2}	
		D3: Factor $c_s / c_t = 5,5 / 90$	–	0,061	

Table E.29 – Hospital: Factors valid for zone Z₄ (intensive care unit)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Linoleum	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.9
Risk of fire		Low	r_f	10^{-3}	Table C.5
Fire protection		None	r_p	1	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power Line	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom Line	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same cable)	K_{S3}	0,01	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: difficulty of evacuation	h_z	5	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	10^{-1}	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-2}	
Factor for persons in zone		$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 5 / 1\,000 \times 8\,760 / 8\,760$	–	0,005	
L4: Economic loss		D2: due to physical damage	L_F	0,5	Table C.12
		D2: Factor $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 2,1 / 90$	–	0,023	
		D3: due to failure of internal systems	L_O	10^{-2}	
		D3: Factor $c_s / c_t = 1,0 / 90$	–	0,011	

E.4.3 Calculation of relevant quantities

Calculations are given in Table E.30 for the collection areas and in Table E.31 for the expected number of dangerous events.

Table E.30 – Hospital: Collection areas of structure and lines

	Symbol	Result m ²	Reference Equation	Equation
Structure	A_D	$2,23 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	$9,85 \times 10^5$	(A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L+W) + \pi \times 500^2$
Power line	$A_{L/P}$	$2,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$2,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	No adjacent structure
Telecom line	$A_{L/T}$	$1,20 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$1,20 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	$2,81 \times 10^3$	(A.2)	$A_{DJ/T} = L_J \times W_J + 2 \times (3 \times H_J) \times (L_J + W_J) + \pi \times (3 \times H_J)^2$

Table E.31 – Hospital: Expected annual number of dangerous events

	Symbol	Result 1/year	Reference Equation	Equation
Structure	N_D	$8,93 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_{D/B} \times C_{D/B} \times 10^{-6}$
	N_M	3,94	(A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Power line	$N_{L/P}$	$4,00 \times 10^{-3}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	$4,00 \times 10^{-1}$	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	No adjacent structure
Telecom line	$N_{L/T}$	$1,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	1,20	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	$1,12 \times 10^{-2}$	(A.5)	$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$

E.4.4 Risk R_1 – Decision on need for protection

Values of the probabilities P_X are given in Table E.32 and the risk components for the unprotected structure are reported in Table E.33.

Table E.32 – Hospital: Risk R_1 – Values of probability P for the unprotected structure

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Reference Equation	Equation
D1 Injury due to shock	P_A	1		1			
	$P_{U/P}$			0,2			
	$P_{U/T}$			0,8			
D2 Physical damage	P_B			1			
	$P_{V/P}$			0,2			
	$P_{V/T}$			0,8			
D3 Failure of internal systems	P_C			1		(14)	$P_C = 1 - (1 - P_{C/P}) \times (1 - P_{C/T}) =$ $= 1 - (1 - 1) \times (1 - 1)$
	P_M			0,0064		(15)	$P_M = 1 - (1 - P_{M/P}) \times (1 - P_{M/T}) =$ $= 1 - (1 - 0,006\ 4) \times (1 - 0,000\ 04)$
	$P_{W/P}$			0,2			
	$P_{W/T}$			0,8			
	$P_{Z/P}$			0			
	$P_{Z/T}$			0			

Table E.33 – Hospital: Risk R_1 for the unprotected structure (values $\times 10^{-5}$)

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Injury due to shock	R_A	0,009	0,000 9	≈ 0	≈ 0	0,010
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Physical damage	R_B		42,4	0,156	0,022	42,6
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		9,21	0,034	0,005	9,245
D3 Failure of internal systems	R_C		8,484	3,126	0,447	12,057
	R_M		2,413	0,889	0,127	3,429
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		1,841	0,678	0,097	2,616
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		0,009	64,37	4,89	0,698	$R_1 = 69,96$
Tolerable		$R_1 > R_T$: Lightning protection is required				$R_T = 1$

Because $R_1 = 69,96 \times 10^{-5}$ is higher than the tolerable value $R_T = 10^{-5}$, lightning protection for the structure is required.

E.4.5 Risk R_1 – Selection of protection measures

The risk R_1 is mainly influenced (see Table E.33):

- by physical damage in the zone Z_2 (components $R_B \approx 61$ % and $R_V \approx 13$ % of the total risk);
- by failures of internal systems in the zones Z_2 and Z_3 (components $R_C \approx 12$ % respectively $R_M \approx 5$ %) of the total risk.

These dominant risk components can be reduced by:

- providing the whole building with an LPS conforming to IEC 62305-3 reducing component R_B via probability P_B . The mandatory-included lightning equipotential bonding at the entrance reduces also the components R_U and R_V via probability P_{EB} ;
- providing zone Z_2 with protection measures against the consequences of fire (such as extinguishers, automatic fire detection system, etc.). This will reduce the components R_B and R_V via the reduction factor r_p ;
- providing zones Z_3 and Z_4 with a coordinated SPD protection conforming to IEC 62305-4 for the internal power and telecom systems. This will reduce the components R_C , R_M , R_W via the probability P_{SPD} ;
- providing zones Z_3 and Z_4 with an adequate spatial grid-like shield conforming to IEC 62305-4. This will reduce the component R_M via the probability P_M .

By combining different elements of these protective measures, the following solutions could be adopted:

Solution a)

- protect the building with a Class I LPS ($P_B = 0,02$ including also $P_{EB} = 0,01$);
- install coordinated SPD protection on internal power and telecom systems for (1,5 x) better than LPL I ($P_{SPD} = 0,005$) in zones Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
- provide zone Z_2 with an automatic fire protection system ($r_p = 0,2$ for zone Z_2 only);
- provide zone Z_3 and Z_4 with a meshed shield with $w_m = 0,5$ m.

Using this solution, the risk values from Table E.33 will change to the reduced values reported in Table E.34.

Table E.34 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution a)
(values $\times 10^{-5}$)

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Injury due to shock	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Physical damage	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Failure of internal systems	R_C		0,085	0,031	0,004	0,12
	R_M		0,012	≈ 0	≈ 0	0,012
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,009	0,003	≈ 0	0,004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,294	0,038	0,005	$R_1 = 0,338$
Tolerable		$R_1 < R_T$: Structure is protected for this type of loss				$R_T = 1$

Solution b)

- protect the building with a Class I LPS ($P_B = 0,02$ including also $P_{EB} = 0,01$);
- install coordinated SPD protection on internal power and telecom systems for (3 x) better than LPL I ($P_{SPD} = 0,001$) in zones Z_2, Z_3, Z_4 .
- provide zone Z_2 with an automatic fire protection system ($r_p = 0,2$ for zone Z_2 only).

Using this solution, the risk values from Table E.33 will change to the reduced values reported in Table E.35.

Table E.35 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution b)
(values $\times 10^{-5}$)

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Injury due to shock	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Physical damage	R_B		0,170	0,003	0,001	0,174
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Failure of internal systems	R_C		0,017	0,006	0,001	0,024
	R_M		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,209	0,011	0,002	$R_1 = 0,222$
Tolerable		$R_1 < R_T$: Structure is protected for this type of loss				$R_T = 1$

Solution c)

- protect the building with a Class I LPS ($P_B = 0,02$ including also $P_{EB} = 0,01$);
- install coordinated SPD protection on internal power and telecom systems for (2 x) better than LPL I ($P_{SPD} = 0,002$) in zones Z_2, Z_3, Z_4 ;
- provide zone Z_2 with an automatic fire protection system ($r_p = 0,2$ for zone Z_2 only);
- provide zone Z_3 and Z_4 with a meshed shield with $w_m = 0,1m$.

Using this solution, the risk values from Table E.33 will change to the reduced values reported in Table E.36.

**Table E.36 – Hospital: Risk R_1 for the protected structure according to solution c)
(values $\times 10^{-5}$)**

Type of damage	Symbol	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Injury due to shock	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Physical damage	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Failure of internal systems	R_C		0,034	0,012	0,002	0,048
	R_M		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,004	0,001	≈ 0	0,005
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,226	0,016	0,002	$R_1 = 0,244$
Tolerable		$R_1 < R_T$: Structure is protected for this type of loss				$R_T = 1$

All solutions reduce the risk to below the tolerable level. The solution to be adopted is subject to both the best technical criteria and the most cost-effective solution.

E.4.6 Risk R_4 – Cost benefit analysis

For the economic loss L_4 the corresponding risk R_4 can be evaluated in the same way as before. All parameters required for evaluating the risk components are given in Tables E.22 through E.29, where the loss values L_X for economic loss L_4 only are valid. Therefore, only zones Z_2 , Z_3 and Z_4 are relevant, whereas zone Z_1 is disregarded (It could be relevant only in case of loss of animals).

The economic values (animals, building, internal systems and activities) were given above in Table E.25 for each zone and in total.

From the risk values R_4 or R'_4 and from the total value of the structure $c_t = 90 \times 10^6$ \$ (Table E.25) the annual cost of loss $C_L = R_4 \times c_t$ for the unprotected and $C_{RL} = R'_4 \times c_t$ for the protected structure can be calculated (see Equation (D.2) and (D.4)). The results are shown in Table E.37.

Table E.37 – Hospital: Cost of loss C_L (unprotected) and C_{RL} (protected)

Protection	Risk R_4 values $\times 10^{-5}$					Cost of loss \$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure	C_L or C_{RL}
Unprotected	–	53,2	8,7	1,6	63,5	57 185
Solution a)	–	0,22	0,07	0,01	0,30	271
Solution b)	–	0,18	0,02	0,005	0,21	190
Solution c)	–	0,19	0,03	0,007	0,23	208

The values assumed for interest, amortization and maintenance rates relevant to the protection measures are given in Table E.38.

Table E.38 – Hospital: Rates relevant to the protection measures

Rate	Symbol	Value
Interest	i	0,04
Amortization	a	0,05
Maintenance	m	0,01

A list of cost C_P for possible protection measures and the annual cost C_{PM} of the protection measures adopted in solution a), b) or c) are given in Table E.39 (see Equation (D.5)).

Table E.39 – Hospital: Cost C_P and C_{PM} of protection measures (values in \$)

Protection measure	Cost C_P	Annual cost $C_{PM} = C_P (i + a + m)$		
		Solution a)	Solution b)	Solution c)
LPS class I	100 000	10 000	10 000	10 000
Automatic fire protection in zone Z_2	50 000	5 000	5 000	5 000
Zones Z_3 and Z_4 shielding ($w = 0,5$ m)	100 000	10 000		
Zones Z_3 and Z_4 shielding ($w = 0,1$ m)	110 000			11 000
SPD on power system ($1,5 \times \text{LPL I}$)	20 000	2 000		
SPD on power system ($2 \times \text{LPL I}$)	24 000			2 400
SPD on power system ($3 \times \text{LPL I}$)	30 000		3 000	
SPD on TLC system ($1,5 \times \text{LPL I}$)	10 000	1 000		
SPD on TLC system ($2 \times \text{LPL I}$)	12 000			1 200
SPD on TLC system ($3 \times \text{LPL I}$)	15 000		1 500	
Total annual cost C_{PM}		28 000	19 500	29 600

The annual saving of money S_M can be evaluated by comparison of the annual cost of loss C_L for the unprotected structure with the sum of the residual annual cost of loss C_{RL} for the protected structure and the annual cost of the protection measures C_{PM} . The results for solution a), b) and c) are given in Table E.40.

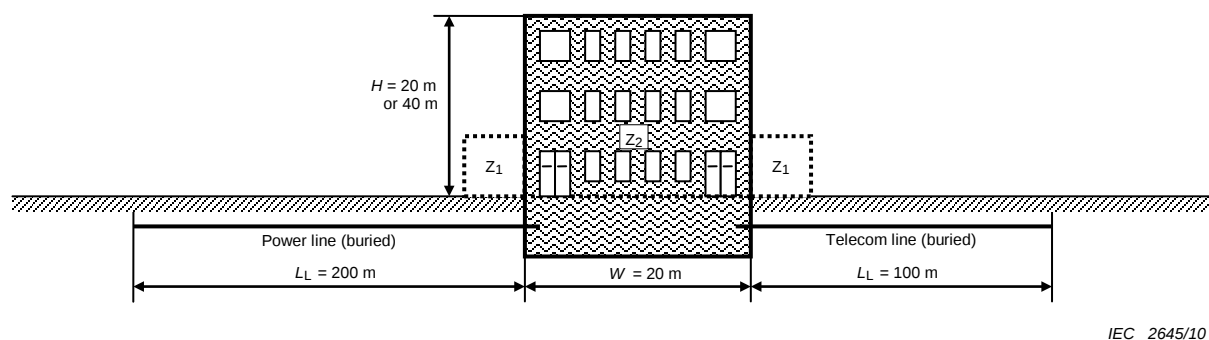
Table E.40 – Hospital: Annual saving of money (values in \$)

	Symbol	Solution a)	Solution b)	Solution c)
Loss for the unprotected structure	C_L	57 185	57 185	57 185
Residual loss for the protected structure	C_{RL}	271	190	208
Annual cost of protection	C_{PM}	28 000	19 500	29 600
Annual saving $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	28 914	37 495	27 377

E.5 Apartment block

This case study compares different solutions for lightning protection for an apartment block. The results show that some solutions may not be sufficient, whereas several suitable solutions can be chosen from different combinations of protection measures.

Only the risk R_1 for loss of human life (L1) with the risk components R_A , R_B , R_U and R_V (according Table 2) will be determined and compared with the tolerable value $R_T = 10^{-5}$ (according to Table 4). Economic evaluation is not required, therefore the risk R_4 for economic loss (L4) is not considered.



Key

Z_1 : outside

Z_2 : inside

Figure E.4 – Apartment block

E.5.1 Relevant data and characteristics

The apartment block is located in flat territory without any neighbouring structures. The lightning flash density is $N_G = 4$ flashes per km^2 per year. 200 persons live in the block. This is also the total number of persons to be considered, because outside the building no people are assumed to be present during a thunderstorm.

Data for the block and its surroundings are given in Table E.41.

Data for the incoming lines and their internal systems connected to are given for the power line in Table E.42 and for the telecom line in Table E.43.

Table E.41 – Apartment block: Environment and global structure characteristics

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Ground flash density ($1/\text{km}^2/\text{year}$)		N_G	4,0	
Structure dimensions (m)	$H = 20$ or 40 (see Table E.45)	L, W	30, 20	
Location factor of structure	Isolated structure	C_D	1	Table A.1
LPS	Variable (see Table E.45)	P_B	–	Table B.2
Equipotential bonding	None	P_{EB}	1	Table B.7
External spatial shield	None	K_{S1}	1	Equation (B.5)

Table E.42 – Apartment block: Power line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	200	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	LV line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Suburban	C_E	0,5	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure (m)	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of adjacent structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	2,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,4	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,3	Table B.9

Table E.43 – Apartment block: Telecom line

Input parameter	Comment	Symbol	Value	Reference
Length (m)		L_L	100	
Installation factor	Buried	C_I	0,5	Table A.2
Line type factor	Telecom line	C_T	1	Table A.3
Environmental factor	Suburban	C_E	0,5	Table A.4
Shield of line (Ω/km)	Unshielded	R_S	–	Table B.8
Shielding, grounding, isolation	None	C_{LD}	1	Table B.4
		C_{LI}	1	
Adjacent structure (m)	None	L_J, W_J, H_J	–	
Location factor of adjacent structure	None	C_{DJ}	–	Table A.1
Withstand voltage of internal system (kV)		U_W	1,5	
	Resulting parameters	K_{S4}	0,67	Equation (B.7)
		P_{LD}	1	Table B.8
		P_{LI}	0,5	Table B.9

E.5.2 Definition of zones in the apartment block

The following zones may be defined:

- Z_1 (outside the building);
- Z_2 (inside the building).

For zone Z_1 it is assumed that no people are outside the building. Therefore the risk of shock to people $R_A = 0$. Because R_A is the only risk component outside the building, zone Z_1 can be disregarded completely.

Zone Z_2 is defined, taking into account the following:

- the structure is classified as a “civil building”;
- both internal systems (power and telecom) exist in this zone;
- no spatial shields exist;
- the structure is a single fireproof compartment;
- losses are assumed to correspond to the typical mean values of Table C.1.

The resulting factors valid for zone Z_2 are reported in Table E.44.

Table E.44 – Apartment block: Factors valid for zone Z_2 (inside the building)

Input parameter		Comment	Symbol	Value	Reference
Type of floor		Wood	r_t	10^{-5}	Table C.3
Protection against shock (flash to structure)		None	P_{TA}	1	Table B.1
Protection against shock (flash to line)		None	P_{TU}	1	Table B.6
Risk of fire		Variable (see Table E.45)	r_f	–	Table C.5
Fire protection		Variable (see Table E.45)	r_p	–	Table C.4
Internal spatial shield		None	K_{S2}	1	Equation (B.6)
Power	Internal wiring	Unshielded (loop conductors in the same conduit)	K_{S3}	0,2	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
Telecom	Internal wiring	Unshielded (large loops $>10m^2$)	K_{S3}	1	Table B.5
	Coordinated SPDs	None	P_{SPD}	1	Table B.3
L1: Loss of human life		Special hazard: None	h_z	1	Table C.6
		D1: due to touch and step voltage	L_T	10^{-2}	Table C.2
		D2: due to physical damage	L_F	10^{-1}	
Factor for persons in zone		$n_z / n_t \times t_z / 8\,760 = 200 / 200 \times 8\,760 / 8\,760$	–	1	

E.5.3 Risk R_1 – Selection of protection measures

Risk R_1 values and the protection measures selected to reduce the risk to the tolerable level $R_T = 10^{-5}$ are given in Table E.45, depending on the following parameters:

- height of the building H ;
- reduction factor r_f for the risk of fire;
- reduction factor r_p reducing the consequences of fire;
- probability P_B depending on the class of LPS adopted.

Table E.45 – Apartment block: Risk R_1 for the apartment block depending on protection measures

Height H m	Risk of fire		LPS		Fire protection		Risk R_1 Values $\times 10^{-5}$	Structure protected $R_1 \leq R_T$
	Type	r_f	Class	P_B	Type	r_p		
20	Low	0,001	None	1	None	1	0,837	Yes
	Ordinary	0,01	None	1	None	1	8,364	No
			III	0,1	None	1	0,776	Yes
			IV	0,2	Manual	0,5	0,747	Yes
	High	0,1	None	1	None	1	83,64	No
			II	0,05	Automatic	0,2	0,764	Yes
			I	0,02	None	1	1,553	No
			I	0,02	Manual	0,5	0,776	Yes
40	Low	0,001	None	1	None	1	2,436	No
			None	1	Automatic	0,2	0,489	Yes
			IV	0,2	None	1	0,469	Yes
	Ordinary	0,01	None	1	None	1	24,34	No
			IV	0,2	Automatic	0,2	0,938	Yes
			I	0,02	None	1	0,475	Yes
	High	0,1	None	1	None	1	243,4	No
			I	0,02	Automatic	0,2	0,949	Yes

Bibliography

- [1] IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measuring techniques – Surge immunity test*
 - [2] IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*
 - [3] IEC 60079-10-2:2009, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres*
 - [4] IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
 - [5] IEC 60050-426:2008, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 426: Equipment for explosive atmospheres*
 - [6] Official Journal of European Union, 1994/28/02, no. C 62/63.
 - [7] ITU-T Recommendation K.47, *Protection of telecommunication lines using metallic conductors against direct lightning discharges*
 - [8] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part I: Return stroke current models with specified channel-base current for the evaluation of return stroke electromagnetic fields*. CIGRE Electra No 161 (August 1995)
 - [9] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part II: Coupling models for the evaluation of the induced voltages*. CIGRE Electra No 162 (October 1995)
 - [10] IEC/TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems – General basic information*
 - [11] ITU-T Recommendation K.46, *Protection of telecommunication lines using metallic symmetric conductors against lightning-induced surges*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	90
INTRODUCTION.....	92
1 Domaine d'application	94
2 Références normatives.....	94
3 Termes, définitions, symboles et abréviations.....	94
3.1 Termes et définitions	94
3.2 Symboles et abréviations	100
4 Explication des termes	104
4.1 Dommages et pertes	104
4.1.1 Sources de dommages	104
4.1.2 Types de dommages	104
4.1.3 Types de pertes.....	104
4.2 Risque et composantes de risque.....	105
4.2.1 Risque.....	105
4.2.2 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur la structure.....	106
4.2.3 Composante de risque pour une structure dû aux impacts à proximité de la structure	106
4.2.4 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur un service connecté à la structure	106
4.2.5 Composante de risque pour une structure dû à un impact à proximité d'un service connecté à la structure.....	107
4.3 Composition des composantes de risque.....	107
5 Evaluation des risques	109
5.1 Procédure de base	109
5.2 Structure à prendre en compte pour l'évaluation des risques.....	109
5.3 Risque tolérable R_T	109
5.4 Procédure particulière pour évaluer le besoin de protection.....	109
5.5 Procédure d'évaluation des impacts économiques de la protection.....	110
5.6 Mesures de protection	113
5.7 Choix des mesures de protection	114
6 Evaluation des composantes de risque.....	114
6.1 Formule de base	114
6.2 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une structure (S1)	114
6.3 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts à proximité de la structure (S2)	115
6.4 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur un service connecté à la structure (S3)	115
6.5 Evaluation de la composante du risque dû aux impacts à proximité d'un service connecté à la structure (S4)	116
6.6 Synthèse des composantes de risque.....	117
6.7 Partition d'une structure en zones Z_S	117
6.8 Partition d'un service en sections S_L	118
6.9 Evaluation des composantes de risque dans une structure avec des zones Z_S	118
6.9.1 Critères généraux.....	118
6.9.2 Structure avec une seule zone	118
6.9.3 Structure à zones multiples	118

6.10 Analyse de rentabilité pour la perte économique (L4)	119
Annexe A (informative) Evaluation du nombre annuel N d'événements dangereux	120
Annexe B (informative) Evaluation de la probabilité de dommages P_x d'une structure	128
Annexe C (informative) Evaluation du montant des pertes L_x	136
Annexe D (informative) Evaluation des coûts des pertes	143
Annexe E (informative) Etude de cas de structures	144
Bibliographie	171
Figure 1 – Procédure pour la décision du besoin de protection et pour le choix des mesures de protection	112
Figure 2 – Procédure d'évaluation des impacts économiques des mesures de protection	113
Figure A.1 – Surface équivalente d'exposition A_D d'une structure isolée	121
Figure A.2 – Structure de forme complexe	122
Figure A.3 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure concernée	123
Figure A.4 – Structure à considérer pour l'évaluation de la surface équivalente d'exposition A_D	124
Figure A.5 – Surfaces équivalentes d'exposition (A_D , A_M , A_i , A_L)	127
Figure E.1 – Maison rurale	144
Figure E.2 – Bâtiment de bureaux	149
Figure E.3 – Hôpital	156
Figure E.4 – Immeuble d'appartements	167
Tableau 1 – Sources de dommages, types de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact	105
Tableau 2 – Composantes de risque à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure	108
Tableau 3 – Facteurs d'influence des composantes de risque	108
Tableau 4 – Valeurs types pour le risque tolérable R_T	109
Tableau 5 – Paramètres associés à l'évaluation des composantes de risque	116
Tableau 6 – Composantes de risque pour différents types de dommages causés par différentes sources	117
Tableau A.1 – Facteur d'emplacement C_D	125
Tableau A.2 – Facteur d'installation C_i	126
Tableau A.3 – Facteur de type de service C_T	126
Tableau A.4 – Facteur d'environnement C_E	126
Tableau B.1 – Valeurs de probabilité P_{TA} pour qu'un impact sur la structure entraîne des chocs sur des êtres vivants dus à des tensions dangereuses de contact et de pas	128
Tableau B.2 – Valeurs de P_B en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques	129
Tableau B.3 – Valeur de probabilité $P_{\text{parafoudre}}$ en fonction des niveaux de protection contre la foudre pour lesquels le parafoudre est conçu	130
Tableau B.4 – Valeurs des facteurs C_{LD} et C_{LI} associés aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation	130
Tableau B.5 – Valeur du facteur K_{S3} en fonction du câblage interne	132

Tableau B.6 – Valeurs de la probabilité P_{TU} pour qu'un coup de foudre sur un service entrant entraînera des chocs aux êtres vivants du fait de tensions de contact dangereuses.....	133
Tableau B.7 – Valeur de la probabilité P_{EB} en fonction du NPF pour lequel les parafoudres sont conçus.....	133
Tableau B.8 – Valeur de la probabilité P_{LD} en fonction de la résistance R_S du blindage du câble et de la tension de tenue aux chocs U_w du matériel.....	134
Tableau B.9 – Valeurs de la probabilité P_{LI} en fonction du type de service et de la tension de tenue aux chocs U_w du matériel.....	135
Tableau C.1 – Type de perte L1: Valeurs des pertes pour chaque zone.....	137
Tableau C.2 – Type de perte L1: Valeurs moyennes types de L_T , L_F et L_O	137
Tableau C.3 – Facteur de réduction r_t en fonction du type de surface du sol ou du plancher.....	138
Tableau C.4 – Facteur de réduction r_p en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu.....	138
Tableau C.5 – Facteur de réduction r_f en fonction du risque d'incendie ou d'explosion de la structure.....	139
Tableau C.6 – Facteur h_z augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier.....	139
Tableau C.7 – Type de perte L2: Valeurs des pertes pour chaque zone.....	140
Tableau C.8 – Type de perte L2: Valeurs moyennes types de L_F et L_O	140
Tableau C.9 – Type de perte L3: Valeurs des pertes pour chaque zone.....	140
Tableau C.10 – Type de perte L3: Valeurs moyennes types de L_F	141
Tableau C.11 – Type de perte L4: Valeurs des pertes pour chaque zone.....	141
Tableau C.12 – Type de perte L4: Valeurs moyennes types de L_T , L_F et L_O	142
Tableau E.1 – Maison rurale: Caractéristiques de l'environnement et de la structure.....	145
Tableau E.2 – Maison rurale: Service de puissance.....	145
Tableau E.3 – Maison rurale: Service de communication.....	145
Tableau E.4 – Maison rurale: Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment).....	146
Tableau E.5 – Maison rurale: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services.....	147
Tableau E.6 – Maison rurale: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux.....	147
Tableau E.7 – Maison rurale: Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)....	148
Tableau E.8 – Maison rurale: Valeurs des composantes de risque relatives au risque R_1 pour la structure protégée.....	148
Tableau E.9 – Bâtiment de bureaux: Caractéristiques de l'environnement et de la structure.....	150
Tableau E.10 – Bâtiment de bureaux: Service de puissance.....	150
Tableau E.11 – Bâtiment de bureaux: Service de communication.....	150
Tableau E.12 – Bâtiment de bureaux: Distribution des personnes dans les zones.....	151
Tableau E.13 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_1 (zone d'entrée à l'extérieur).....	152
Tableau E.14 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_2 (jardin).....	152
Tableau E.15 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_3 (archives).....	152
Tableau E.16 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_4 (bureaux).....	153
Tableau E.17 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_5 (centre informatique).....	153

Tableau E.18 – Bâtiment de bureaux: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services	154
Tableau E.19 – Bâtiment de bureaux: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux	154
Tableau E.20 – Bâtiment de bureaux: Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)	155
Tableau E.21 – Bâtiment de bureaux: Risque R_1 pour la structure protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)	156
Tableau E.22 – Hôpital: Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale	157
Tableau E.23 – Hôpital: Service de puissance	157
Tableau E.24 – Hôpital: Service de communication.....	157
Tableau E.25 – Hôpital: Distribution des personnes et valeurs économiques dans les zones.....	158
Tableau E.26 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_1 (à l'extérieur du bâtiment)	159
Tableau E.27 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_2 (bloc chambres)	160
Tableau E.28 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_3 (bloc opératoire).....	160
Tableau E.29 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_4 (unité de soins intensifs)	161
Tableau E.30 – Hôpital: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services	162
Tableau E.31 – Hôpital: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux	162
Tableau E.32 – Hôpital: Risque R_1 – Valeurs de la probabilité P pour la structure non protégée	163
Tableau E.33 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)	163
Tableau E.34 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution a) (valeurs $\times 10^{-5}$)	164
Tableau E.35 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution b) (valeurs $\times 10^{-5}$)	165
Tableau E.36 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution c) (valeurs $\times 10^{-5}$)	165
Tableau E.37 – Hôpital: Coût des pertes C_L (non protégée) et C_{RL} (protégée)	166
Tableau E.38 – Hôpital: Taux relatifs aux mesures de protection	166
Tableau E.39 – Hôpital: Coûts C_P et C_{PM} des mesures de protection (valeurs en \$)	166
Tableau E.40 – Hôpital: Économie annuelle en monnaie (valeurs en \$)	167
Tableau E.41 – Immeuble d'appartements: Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale	168
Tableau E.42 – Immeuble d'appartements: Service de puissance	168
Tableau E.43 – Immeuble d'appartements: Service de communication.....	169
Tableau E.44 – Immeuble d'appartements: Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment)	169
Tableau E.45 – Immeuble d'appartements: Risque R_1 pour l'immeuble d'appartements en fonction des mesures de protection	170

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

Partie 2: Evaluation des risques

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62305-2 a été établie par le comité d'études 81 de la CEI: Protection contre la foudre.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 2006, et constitue une révision technique.

Par rapport à la précédente, cette édition comprend les modifications techniques significatives suivantes:

- 1) L'évaluation des risques pour les services connectés aux structures est exclue du domaine d'application.
- 2) Les blessures aux êtres vivants dues au choc électrique à l'intérieur de la structure sont prises en compte.

- 3) Le risque tolérable de perte du patrimoine culturel est réduit de 10^{-3} à 10^{-4} . La valeur du risque tolérable de perte de valeur économique ($R_T = 10^{-3}$) est introduite pour être utilisée lorsque les données applicables à l'analyse de rentabilité ne sont pas disponibles.
- 4) Les dommages étendus aux structures avoisinantes ou à l'environnement sont pris en compte.
- 5) Des équations améliorées sont fournies pour l'évaluation des éléments suivants:
 - surfaces équivalentes d'exposition pour les coups de foudre à proximité d'une structure;
 - surfaces équivalentes d'exposition pour les coups de foudre sur et à proximité d'un service;
 - probabilités qu'un coup de foudre puisse provoquer des dommages;
 - facteurs de pertes même dans des structures avec risque d'explosion;
 - risque valable pour une zone d'une structure;
 - coût des pertes.
- 6) Les tableaux sont fournis pour sélectionner le coût relatif des pertes dans tous les cas.
- 7) Le niveau de tension de tenue aux chocs des matériels a été porté jusqu'à 1 kV.

La présente version bilingue correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2010-12.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 81/371/FDIS et 81/381/RVD.

Le rapport de vote 81/381/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62305, regroupées sous le titre général *Protection contre la foudre*, peut être consultée sur le site de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité 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.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Les coups de foudre à la terre peuvent être dangereux pour les structures et les services.

Le danger pour la structure peut donner lieu

- à des dommages affectant la structure et son contenu,
- à des défaillances des réseaux de puissance et de communication associés,
- à des blessures sur des êtres vivants dans la structure ou à proximité.

Les effets consécutifs à des dommages et à des défaillances peuvent s'étendre à la proximité immédiate de la structure ou peuvent impliquer son environnement.

Des mesures de protection peuvent être exigées pour réduire les pertes dues à la foudre. Il convient que la nécessité d'une telle protection et son choix soient considérés en termes d'évaluation des risques.

Le risque, défini dans la présente partie de la CEI 62305 comme la perte annuelle moyenne probable dans une structure due aux coups de foudre, dépend:

- du nombre annuel de coups de foudre impliquant la structure;
- de la probabilité de dommages dus à l'un de ces coups de foudre;
- du coût moyen des pertes consécutives.

Les coups de foudre impliquant une structure peuvent être divisés en

- coups de foudre directs sur la structure,
- coups de foudre à proximité de la structure, directement sur les services connectés (réseaux de puissance, réseaux de communication) ou à proximité des services.

Les coups de foudre directs sur la structure ou les services connectés peuvent causer des dommages physiques et mettre en danger la vie des personnes. Les coups de foudre à proximité d'une structure ou d'un service, comme les coups de foudre directs sur la structure ou le service, peuvent causer des défaillances des réseaux de puissance et de communication en raison des surtensions dues à un couplage résistif ou inductif entre ces réseaux et le courant de foudre.

En outre, les défaillances dues aux surtensions de foudre dans les installations des utilisateurs et dans les services d'alimentation peuvent également générer des surtensions de manœuvre dans les installations.

NOTE Le dysfonctionnement des réseaux de puissance et de communication n'est pas couvert par la série CEI 62305. Il convient de se reporter à la CEI 61000-4-5[1]¹.

Le nombre de coups de foudre impliquant la structure dépend des dimensions et des caractéristiques de la structure et des services connectés, des caractéristiques de l'environnement de la structure et des services ainsi que de la densité de foudroiement au sol à l'emplacement de la structure et des services.

La probabilité des dommages dus à la foudre dépend de la structure, des services connectés et des caractéristiques du courant de foudre ainsi que du type et de l'efficacité des mesures de protection appliquées.

Le coût annuel moyen des pertes consécutives dépend de l'étendue des dommages et des effets consécutifs qui peuvent être dus au coup de foudre.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

L'effet des mesures de protection résulte des caractéristiques de chacune d'elle et peut réduire les probabilités de dommages ou le coût des pertes consécutives.

La décision de mise en œuvre d'une protection contre la foudre peut être prise sans tenir compte d'une méthode d'évaluation des risques lorsqu'il est considéré qu'aucun risque n'est inévitable.

PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

Partie 2: Evaluation des risques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62305 est applicable à l'évaluation des risques, dans une structure, en raison des coups de foudre au sol.

Elle est destinée à proposer une procédure d'évaluation d'un tel risque. Une fois fixée la limite supérieure du risque tolérable, la procédure proposée permet de choisir les mesures de protection appropriées pour réduire le risque à une valeur inférieure ou égale à la valeur limite tolérable.

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 62305-1:2010: *Protection against lightning – Part 1: General principles*
(existe seulement en anglais)

CEI 62305-3:2010: *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*
(existe seulement en anglais)

CEI 62305-4:2010: *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*
(existe seulement en anglais)

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions, symboles et abréviations dont certains ont déjà été cités dans la Partie 1, mais sont répétés ci-dessous pour faciliter la lecture, ainsi que ceux donnés dans les autres parties de la CEI 62305, s'appliquent.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

structure à protéger

structure pour laquelle une protection contre les effets de la foudre est exigée conformément à la présente norme

NOTE Une structure à protéger peut faire partie d'une structure de plus grandes dimensions.

3.1.2

structures avec risque d'explosion

structures contenant des matériaux explosifs massifs ou des zones dangereuses comme cela est déterminé dans la CEI 60079-10-1^[2] et dans la CEI 60079-10-2^[3]

3.1.3**structures dangereuses pour l'environnement**

structures qui peuvent être à l'origine d'émissions biologiques, chimiques et radioactives à la suite d'un foudroiement (par exemple installations chimiques, pétrochimiques, nucléaires, etc.)

3.1.4**environnement urbain**

zone présentant une forte densité de bâtiments ou une population importante et des immeubles élevés

NOTE Un centre-ville constitue un exemple d'environnement urbain.

3.1.5**environnement suburbain**

zone présentant une densité moyenne de bâtiments

NOTE Les zones à la périphérie immédiate des villes constituent un exemple d'environnement suburbain.

3.1.6**environnement rural**

zone présentant une faible densité de bâtiments

NOTE La campagne constitue un exemple d'environnement rural.

3.1.7**tension assignée de tenue aux chocs**

U_w

valeur de tension de tenue aux chocs fixée par le fabricant aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre des surtensions

(CEI 60664-1:2007, définition 3.9.2) ^[4]

NOTE Pour les besoins de la présente partie de la CEI 62305, seule la tension de tenue entre les conducteurs actifs et la terre est prise en compte.

3.1.8**réseau de puissance**

réseau comportant des composants de puissance à basse tension

3.1.9**réseau de communication**

réseau comprenant des composants électroniques sensibles tels que matériels de communication, systèmes d'ordinateurs, de commande et d'instrumentation, systèmes radio et installations d'électronique de puissance

3.1.10**réseaux internes**

réseaux de puissance et de communication à l'intérieur d'une structure

3.1.11**service**

service de puissance ou de communication relié à la structure à protéger

3.1.12**services de communication**

services destinés à la communication entre des matériels qui peuvent être situés dans des structures séparées, comme les lignes téléphoniques et les lignes pour la transmission de données

3.1.13

services de puissance

lignes de transmission amenant l'énergie électrique dans une structure pour alimenter les matériels de puissance et de communication qui s'y trouvent, par exemple réseaux d'alimentation à basse tension (BT) ou à haute tension (HT)

3.1.14

événement dangereux

coup de foudre direct ou à proximité de la structure à protéger, ou direct ou à proximité d'un service connecté à la structure à protéger susceptible de provoquer des dommages

3.1.15

coup de foudre frappant une structure

coup de foudre frappant une structure à protéger

3.1.16

coup de foudre frappant à proximité d'une structure

coup de foudre frappant suffisamment près d'une structure à protéger pour pouvoir causer des surtensions dangereuses

3.1.17

coup de foudre frappant un service

coup de foudre frappant un service connecté à la structure à protéger

3.1.18

coup de foudre frappant à proximité d'un service

coup de foudre frappant suffisamment près d'un service connecté à la structure à protéger pour pouvoir causer des surtensions dangereuses

3.1.19

fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure

N_D

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure

3.1.20

fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service

N_L

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service

3.1.21

fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure

N_M

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure

3.1.22

fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service

N_I

nombre annuel moyen prévisible des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service

3.1.23

impulsion électromagnétique de foudre

IEMF

tous les effets électromagnétiques dus au courant de foudre par couplage résistif, inductif et capacitif qui crée des chocs de tension et des champs électromagnétiques

3.1.24**choc**

onde transitoire créant une surtension et/ou une surintensité due à l'IEMF

3.1.25**nœud**

point d'une ligne d'un service où la propagation d'un choc peut être négligée

NOTE Des exemples de nœuds sont un point de connexion d'un transformateur HT/BT ou d'une sous-station, un poste ou matériel de télécommunication (par exemple multiplexeur ou matériel xDSL) d'une ligne de communication.

3.1.26**dommages physiques**

dommage touchant la structure (ou son contenu) et dû aux effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs de la foudre

3.1.27**blessures d'êtres vivants**

blessures, y compris la mort, de personnes ou d'animaux par choc électrique en raison des tensions de contact et de pas dues à la foudre

NOTE Bien que les blessures d'êtres vivants puissent avoir d'autres origines, l'expression "blessures d'êtres vivants" spécifiée dans la présente partie de la CEI 62305 se limite à la menace due au choc électrique (type de dommage D1).

3.1.28**défaillance des réseaux de puissance et de communication**

dommage permanent des réseaux de puissance et de communication dû aux IEMF

3.1.29**probabilité de dommage**

P_X

probabilité pour qu'un événement dangereux cause un dommage à ou dans la structure à protéger

3.1.30**perte**

L_X

montant moyen de pertes (personnes et biens) consécutif à un type spécifique de dommage dû à un événement dangereux, par rapport à la valeur (personnes et biens) de la structure à protéger

3.1.31**risque**

R

mesure de la perte annuelle moyenne probable (personnes et biens) due à la foudre, par rapport à la valeur totale (personnes et biens) de la structure à protéger

3.1.32**composante de risque**

R_X

risque partiel qui dépend de la source et du type de dommage

3.1.33**risque tolérable**

R_T

valeur maximale du risque qui peut être tolérée par la structure à protéger

3.1.34

zone d'une structure

Z_S

partie d'une structure dont les caractéristiques sont homogènes et dans laquelle un seul jeu de paramètres est utilisé pour l'évaluation d'une composante du risque

3.1.35

section d'un service

S_L

partie d'un service dont les caractéristiques sont homogènes et dans laquelle un seul jeu de paramètres est utilisé pour l'évaluation d'une composante du risque

3.1.36

zone de protection contre la foudre

ZPF

zone dans laquelle l'environnement électromagnétique de foudre est défini

NOTE Les frontières d'une ZPF ne sont pas nécessairement physiques (par exemple parois, plancher, plafond).

3.1.37

niveau de protection contre la foudre

NPF

nombre lié à un ensemble de valeurs de paramètres du courant de foudre et relatif à la probabilité que les valeurs de conception associées maximales et minimales ne seront pas dépassées lorsque la foudre apparaît de manière naturelle

NOTE Le niveau de protection contre la foudre est utilisé pour prévoir des mesures de protection selon le jeu approprié de paramètres du courant de foudre.

3.1.38

mesures de protection

mesures à adopter dans la structure à protéger pour réduire le risque

3.1.39

protection contre la foudre

PCLF

installation complète de protection des structures contre les effets de la foudre, y compris ses réseaux internes et leurs contenus, ainsi que des personnes, comprenant généralement un SPF et une MPF

3.1.40

système de protection contre la foudre

SPF

installation complète utilisée pour réduire les dangers de dommages physiques dus aux coups de foudre directs sur une structure

NOTE Elle comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

3.1.41

mesures de protection de l'IEMF

MPF

mesures prises pour protéger les réseaux internes contre les effets de l'IEMF

NOTE Il s'agit d'une partie de la protection générale contre la foudre.

3.1.42

blindage magnétique

grillage métallique fermé ou écran continu entourant la structure à protéger, ou une partie de celle-ci, afin de réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication

3.1.43**câble de protection contre la foudre**

câble spécial présentant une résistance diélectrique élevée et dont la gaine métallique est en contact continu avec le sol, directement ou au moyen d'un revêtement plastique conducteur

3.1.44**conduit de protection contre la foudre**

conduit de faible résistivité en contact avec le sol

EXEMPLE Béton armé avec connexion aux structures métalliques internes ou conduit métallique.

3.1.45**parafoudre**

dispositif conçu pour limiter les surtensions transitoires et évacuer les courants de choc; comporte au moins un composant non linéaire

3.1.46**protection coordonnée par parafoudres**

(parafoudres coordonnés)

ensemble de parafoudres coordonnés choisis de manière appropriée et mis en œuvre afin de réduire les défaillances des réseaux de puissance et de communication

3.1.47**interfaces d'isolement**

dispositifs capables de réduire les chocs conduits sur les services pénétrant dans la ZPF

NOTE 1 Ceci comprend des transformateurs d'isolement à écran mis à la terre entre les enroulements, les câbles à fibre optique non métalliques et les opto-isolateurs.

NOTE 2 Les caractéristiques de tenue d'isolement de ces dispositifs sont appropriées à la présente application de manière intrinsèque ou par parafoudre.

3.1.48**liaison équipotentielle de foudre**

EB (*equipotential bonding*)

interconnexion des parties métalliques d'une installation de SPF, par des connexions directes ou par des parafoudres réduisant les différences de potentiel engendrées par le courant de foudre

3.1.49**zone 0**

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol est présente en permanence, ou est présente pendant de longues périodes ou fréquemment

(CEI 60050-426:2008, 426-03-03, modifiée) ^[5]

3.1.50**zone 1**

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol est susceptible de se former en service normal occasionnellement

(CEI 60050-426:2008, 426-03-04, modifiée) ^[5]

3.1.51**zone 2**

emplacement dans lequel une atmosphère explosive constituée d'un mélange d'air et de substances inflammables sous la forme de gaz, de vapeur ou d'aérosol n'est pas susceptible de se former en service normal et où une telle formation, si elle se produit, ne peut subsister que pendant une courte période

NOTE 1 Dans cette définition, le terme «subsister» signifie le temps total durant lequel une atmosphère inflammable existe. Ce temps comprend normalement le temps total de présence en plus du temps de dispersion de l'atmosphère inflammable après évacuation.

NOTE 2 Des indications sur la fréquence d'apparition et la durée peuvent être données par des règlements propres à des industries ou applications spécifiques.

(CEI 60050-426:2008, 426-03-05, modifiée) ^[5]

3.1.52

zone 20

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment

(CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée) ^[3]

3.1.53

zone 21

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal

(CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée) ^[3]

3.1.54

zone 22

emplacement dans lequel une atmosphère explosive, sous la forme d'un nuage de poussières combustibles dans l'air, n'est pas susceptible de se former en fonctionnement normal, et où une telle formation, si elle se produit, ne peut subsister que pendant une courte période

(CEI 60079-10-2:2009, 6.2, modifiée) ^[3]

3.2 Symboles et abréviations

a	Taux d'amortissement.....	Annexe D
A _D	Surface équivalente d'exposition pour les impacts sur une structure isolée.....	A.2.1.1
A _{DJ}	Surface équivalente d'exposition pour les impacts sur une structure adjacente.....	A.2.5
A _{D'}	Surface équivalente d'exposition pour les toitures élevées saillantes	A.2.1.2
A _I	Surface équivalente d'exposition pour les impacts à proximité d'un service.....	A.5
A _L	Surface équivalente d'exposition pour les impacts sur un service	A.4
A _M	Surface équivalente d'exposition pour les impacts à proximité d'une structure	A.3
B	Bâtiment	A.2
C _D	Facteur d'emplacement.....	Tableau A.1
C _{DJ}	Facteur d'emplacement d'une structure adjacente	A.2.5
C _E	Facteur d'environnement	Tableau A.4
C _I	Facteur d'installation du service.....	Tableau A.2
C _L	Coût annuel des pertes totales en l'absence de mesures de protection.....	5.5; Annexe D
C _{LD}	Facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service concernant les coups de foudre directs sur un service	Annexe B
C _{LI}	Facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service concernant les coups de foudre à proximité d'un service	Annexe B
C _{LZ}	Coût des pertes dans une zone	Annexe D

C_P	Coût des mesures de protection	Annexe D
C_{PM}	Coût annuel des mesures de protection choisies	5.5, Annexe D
C_{RL}	Coût annuel des pertes résiduelles	5.5; Annexe D
C_{RLZ}	Coût des pertes résiduelles dans une zone	Annexe D
C_T	Facteur de type de service dû à la présence d'un transformateur HT/BT sur le service	Tableau A.3 A.4
c_a	Coût des animaux dans la zone, en monnaie	C.6
c_b	Coût du bâtiment dans la zone, en monnaie	C.6
c_c	Coût du contenu de la zone, en monnaie	C.6
c_e	Coût total des biens dans un emplacement dangereux à l'extérieur de la structure, en monnaie	C.6
c_s	Coût des réseaux internes (y compris leurs activités) dans la zone, en monnaie.....	C.6
c_t	Valeur totale de la structure, en monnaie.....	C.5; C.6
c_z	Coût de l'héritage culturel dans la zone, en monnaie	C.5
D1	Blessures d'êtres vivants par choc électrique.....	4.1.2
D2	Dommages physiques.....	4.1.2
D3	Défaillance des réseaux de puissance et de communication	4.1.2
h_z	Facteur augmentant les pertes dues aux dommages physiques en présence d'un danger spécial	Tableau C.6
H	Hauteur de la structure	A.2.1.1
H_J	Hauteur de la structure adjacente	A.2.5
i	Taux d'intérêt.....	Annexe D
K_{MS}	Facteur relatif aux performances des mesures de protection contre l'IEMF	B.5
K_{S1}	Facteur associé à l'efficacité de blindage d'une structure.....	B.5
K_{S2}	Facteur associé à l'efficacité de blindage des blindages internes à la structure	B.5
K_{S3}	Facteur associé aux caractéristiques du câblage interne	B.5
K_{S4}	Facteur associé à la tension de tenue aux chocs d'un réseau	B.5
L	Longueur de la structure	A.2.1.1
L_J	Longueur de la structure adjacente	A.2.5
L_A	Pertes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur une structure)	6.2
L_B	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques (impacts sur une structure)	6.2
L_L	Longueur de la section du service.....	A.4
L_C	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts sur une structure) ..	6.2
L_E	Pertes complémentaires associées aux dommages de structures	C.3, C.6
L_F	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques.....	Tableaux C.2, C.8, C.10, C.12
L_{FE}	Pertes dues aux dommages physiques à l'extérieur de la structure	C.3; C.6
L_{FT}	Pertes totales dues aux dommages physiques à l'intérieur et à l'extérieur de la structure	C.3; C.6
L_M	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts à proximité d'une structure).....	6.3
L_O	Pertes dans une structure dues aux défaillances des réseaux	Tableaux C.2, C.8, C.12
L_T	Pertes dues aux blessures par choc électrique	Tableaux C.2, C.12

L_U	Pertes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur un service)	6.4
L_V	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques (impacts sur un service)	6.4
L_W	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts sur un service)	6.4
L_X	Pertes consécutives de la structure	6.1
L_Z	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes dues aux impacts à proximité d'un service	6.5
L1	Perte de vie humaine	4.1.3
L2	Perte de service public	4.1.3
L3	Perte d'héritage culturel	4.1.3
L4	Pertes de valeurs économiques	4.1.3
m	Coût de maintenance	Annexe D
N_X	Nombre annuel d'événements dangereux	6.1
N_D	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure	A.2.4
N_{DJ}	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure adjacente ..	A.2.5
N_G	Densité de foudroiement au sol	A.1
N_I	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service	A.5
N_L	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service	A.4
N_M	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure	A.3
n_z	Nombre de personnes potentiellement en danger (victimes ou usagers non desservis)	C.3; C.4
n_t	Nombre total attendu de personnes (ou d'usagers desservis)	C.3; C.4
P	Probabilité de dommages	Annexe B
P_A	Probabilité de blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur une structure)	6.2; B.2
P_B	Probabilité de dommages physiques sur une structure (impacts sur une structure)	Tableau B.2
P_C	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts sur la structure)	6.2; B.4
P_{EB}	Probabilité de réduction de P_U et P_V en fonction des caractéristiques du service et de la tension de tenue du matériel avec l'installation d'une liaison équipotentielle de foudre (EB)	Tableau B.7
P_{LD}	Probabilité de réduction de P_U , P_V et P_W en fonction des caractéristiques du service et de la tension de tenue du matériel (impacts sur le service connecté)	Tableau B.8
P_{LI}	Probabilité de réduction de P_Z en fonction des caractéristiques du service et de la tension de tenue du matériel (impacts à proximité du service connecté)	Tableau B.9
P_M	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts à proximité d'une structure)	6.3; B.5
P_{MS}	Probabilité de réduction de P_M en fonction du blindage, du câblage et de la tension de tenue du matériel	B.5
$P_{\text{parafoudre}}$	Probabilité de réduction de P_C , P_M , P_W et P_Z avec l'installation de parafoudres coordonnés	Tableau B.3
P_{TA}	Probabilité de réduction de P_A en fonction des mesures de protection contre les tensions de contact et de pas	Tableau B.1

P_U	Probabilité de blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur le service connecté)	6.4; B.6
P_V	Probabilité de dommages physiques sur une structure (impacts sur le service connecté)	6.4; B.7
P_W	Probabilité de défaillance des réseaux internes (impacts sur le service connecté)	6.4; B.8
P_X	Probabilité de dommages sur une structure	6.1
P_Z	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts à proximité d'un service connecté)	6.5; B.9
r_t	Facteur de réduction associé au type de sol	C.3
r_f	Facteur de réduction associé au risque d'incendie	C.3
r_p	Facteur réduisant les pertes dues aux dispositions contre l'incendie	C.3
R	Risque	4.2
R_A	Composante du risque (lié aux blessures d'êtres vivants – impacts sur une structure)	4.2.2
R_B	Composante du risque (lié aux dommages physiques sur une structure – impacts sur la structure)	4.2.2
R_C	Composante du risque (lié aux défaillances des réseaux internes – impacts sur une structure)	4.2.2
R_M	Composante du risque (lié aux défaillances des réseaux internes – impacts à proximité de la structure)	4.2.3
R_S	Résistance de blindage par unité de longueur d'un câble	Tableau B.8
R_T	Risque tolérable	5.3; Tableau 4
R_U	Composante du risque (de blessures d'êtres vivants – impacts sur le service connecté)	4.2.4
R_V	Composante du risque (lié aux dommages physiques sur la structure – impacts sur le service connecté)	4.2.4
R_W	Composante du risque (lié aux défaillances des réseaux internes – impacts sur le service connecté)	4.2.4
R_X	Composante du risque pour une structure	6.1
R_Z	Composante du risque (lié aux défaillances des réseaux internes – impacts à proximité d'un service)	4.2.5
R_1	Risque de pertes de vie humaine dans une structure	4.2.1
R_2	Risque de perte de service public dans une structure	4.2.1
R_3	Risque de perte d'héritage culturel dans une structure	4.2.1
R_4	Risque de pertes de valeur économique dans une structure	4.2.1
R'_4	Risque de pertes de valeur économique avec mesures de protection	Annexe D
S	Structure	A.2.2
S_M	Economie annuelle en monnaie	Annexe D
S_L	Section d'un service	6.8
S_1	Source de dommages – Impacts sur une structure	4.1.1
S_2	Source de dommages – Impacts à proximité d'une structure	4.1.1
S_3	Source de dommages – Impacts sur un service	4.1.1
S_4	Source de dommages – Impacts à proximité d'un service	4.1.1
t_e	Temps, en heures, par année pendant lequel des personnes sont à un emplacement dangereux hors de la structure	C.3
t_z	Temps, en heures, par année pendant lequel des personnes sont à un emplacement dangereux	C.2
T_D	Jours d'orage par an	A.1

U_w	Tension assignée de tenue aux chocs d'un réseau	B.5
w_m	Largeur de maille	B.5
W	Largeur de la structure.....	A.2.1.1
W_j	Largeur de la structure adjacente	A.2.5
X	Indice identifiant la composante de risque pertinente	6.1
Z_S	Zones d'une structure	6.7

4 Explication des termes

4.1 Dommages et pertes

4.1.1 Sources de dommages

Le courant de foudre est la source principale des dommages. Les sources suivantes sont distinguées en fonction de l'emplacement du point d'impact (voir Tableau 1):

- S1: impacts sur une structure;
- S2: impacts à proximité d'une structure;
- S3: impacts sur un service;
- S4: impacts à proximité d'un service.

4.1.2 Types de dommages

Un coup de foudre peut entraîner des dommages qui sont fonction des caractéristiques de la structure à protéger et dont les plus importantes sont: le type de construction, le contenu et ses applications, le type de service et les mesures de protection prises.

Pour des applications pratiques de l'évaluation des risques, il est utile de distinguer trois types essentiels de dommages pouvant apparaître à la suite d'un coup de foudre. Ces types sont les suivants (voir Tableau 1):

- D1: blessures d'êtres vivants par choc électrique;
- D2: dommages physiques;
- D3: défaillance des réseaux de puissance et de communication.

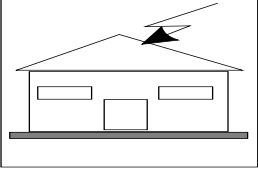
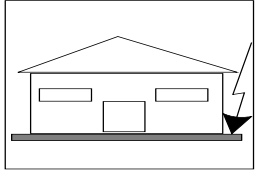
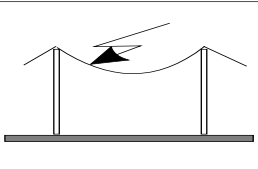
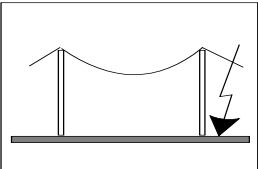
Les dommages à une structure dus à la foudre peuvent être limités à une partie de la structure ou peuvent s'étendre à l'ensemble de celle-ci. Ils peuvent également impliquer les structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives).

4.1.3 Types de pertes

Chaque type de dommage, seul ou associé aux autres, peut entraîner des pertes consécutives différentes dans la structure à protéger. Le type de perte pouvant apparaître dépend des caractéristiques de la structure elle-même et de son contenu. Les types de pertes suivants doivent être pris en compte (voir Tableau 1):

- L1: perte de vie humaine (y compris les blessures permanentes);
- L2: perte de service public;
- L3: perte d'héritage culturel;
- L4: perte de valeurs économiques (structure et son contenu, et perte d'activité).

Tableau 1 – Sources de dommages, types de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact

Coup de foudre		Structure	
Point d'impact	Source de dommages	Type de dommages	Type de pertes
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Seulement dans le cas où des pertes d'animaux peuvent survenir. ^b Seulement dans le cas des structures présentant des risques d'explosion et dans des hôpitaux ou autres structures dans lesquelles des défaillances de réseaux internes peuvent entraîner des dangers mortels.			

4.2 Risque et composantes de risque

4.2.1 Risque

Le risque R est la mesure d'une perte annuelle moyenne probable. Pour chaque type de perte qui peut apparaître dans une structure, le risque correspondant doit être évalué.

Les risques à évaluer dans une structure peuvent être les suivants:

R_1 : risque de perte de vie humaine (y compris les blessures permanentes);

R_2 : risque de perte de service public;

R_3 : risque de perte d'héritage culturel;

R_4 : risque de perte de valeurs économiques.

Pour évaluer les risques, R , les composantes appropriées du risque (risques partiels dépendant de la source et du type de dommage) doivent être définies et calculées.

Chaque risque, R , est la somme des risques qui le composent. Lorsqu'on calcule un risque, les composantes du risque peuvent être groupées en fonction de la source et du type des dommages.

4.2.2 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur la structure

R_A : Composante liée aux blessures d'êtres vivants dues au choc électrique du fait des tensions de contact et de pas dans la structure et à l'extérieur dans les zones jusqu'à 3 m autour des conducteurs de descente. Des pertes de type L1 et, dans le cas de structures abritant le bétail, des pertes de type L4 avec pertes éventuelles d'animaux peuvent apparaître.

NOTE Dans des structures particulières, des personnes peuvent être soumises à des coups de foudre directs (par exemple niveau supérieur d'un garage ou d'un stade). Ces cas peuvent également être traités en appliquant les principes de la présente partie de la CEI 62305.

R_B : Composante liée aux dommages physiques d'un étincelage dangereux dans la structure entraînant un incendie ou une explosion pouvant produire des dangers pour l'environnement. Tous les types de pertes (L1, L2, L3 et L4) peuvent apparaître.

R_C : Composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF. Des pertes de type L2 et L4 pourraient apparaître dans tous les cas, avec le type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion et dans des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

4.2.3 Composante de risque pour une structure dû aux impacts à proximité de la structure

R_M : Composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF. Des pertes de type L2 et L4 pourraient apparaître dans tous les cas, avec le type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion et des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

4.2.4 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur un service connecté à la structure

R_U : Composante liée aux blessures d'êtres vivants dues au choc électrique du fait des tensions de contact à l'intérieur de la structure. Des pertes de type L1 et, dans le cas de domaines agricoles, des pertes de type L4 avec pertes éventuelles d'animaux peuvent apparaître.

R_V : Composante liée aux dommages physiques (incendie ou explosion dus à un étincelage dangereux entre une installation extérieure et les parties métalliques généralement situées au point de pénétration du service dans la structure) dus au courant de foudre transmis dans les services entrants. Tous les types de pertes (L1, L2, L3, L4) peuvent apparaître.

R_W : Composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les services entrants et transmises à la structure. Des pertes de type L2 et L4 pourraient apparaître dans tous les cas, avec le type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion et des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

NOTE 1 Les seuls services à considérer pour cette évaluation sont les services pénétrant dans la structure.

NOTE 2 Les coups de foudre sur, ou à proximité de, canalisations n'entraînent pas de dommages dans la structure si elles sont connectées à une borne d'équipotentialité. Si une borne d'équipotentialité n'est pas prévue, il convient également de considérer une telle menace.

4.2.5 Composante de risque pour une structure dû à un impact à proximité d'un service connecté à la structure

R_Z : Composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les services entrants et transmises à la structure. Des pertes de type L2 et L4 pourraient apparaître dans tous les cas, avec le type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

NOTE 1 Les seuls services à considérer pour cette évaluation sont les services pénétrant dans la structure.

NOTE 2 Les coups de foudre sur ou à proximité de canalisations n'entraînent pas de dommages dans la structure si elles sont connectées à une borne d'équipotentialité. Si une borne d'équipotentialité n'est pas prévue, il convient également de considérer une telle menace.

4.3 Composition des composantes de risque

Les composantes de risque à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure sont données ci-dessous:

R_1 : Risque de perte de vie humaine:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^{1)} + R_{M1}^{1)} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^{1)} + R_{Z1}^{1)} \quad (1)$$

¹⁾ Uniquement pour les structures présentant un risque d'explosion et pour les hôpitaux équipés de matériels de réanimation électriques ou autres structures, lorsque les défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

R_2 : Risque de perte de service public:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

R_3 : Risque de perte d'héritage culturel:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

R_4 : Risque de perte de valeurs économiques:

$$R_4 = R_{A4}^{2)} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{2)} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

²⁾ Seulement pour les propriétés où des pertes éventuelles d'animaux peuvent survenir.

Les composantes de risque correspondant à chaque type de perte sont également combinées dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Composantes de risque à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure

Source de dommage	Impact sur la structure S1			Impact à proximité de la structure S2	Impact sur un service connecté à la structure S3			Impact à proximité d'un service connecté à la structure S4
Composante du risque	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risque pour chaque type de perte								
R_1	*	*	*a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*

^a Seulement dans le cas des structures présentant des risques d'explosion et dans des hôpitaux et autres structures dans lesquelles des défaillances de réseaux internes peuvent mettre en danger immédiat la vie humaine.

^b Seulement dans le cas des propriétés où des pertes d'animaux peuvent survenir.

Les caractéristiques de la structure et les mesures éventuelles de protection influençant les composantes de risque sont données dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Facteurs d'influence des composantes de risque

Caractéristiques de la structure ou du réseau interne	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Mesures de protection								
Surface équivalente d'exposition	X	X	X	X	X	X	X	X
Résistivité de surface du sol	X							
Résistivité du sol					X			
Restrictions physiques, isolation, avertissement, isolation équipotentielle du sol	X				X			
SPF	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Parafoudre d'équipotentialité	X	X			X	X		
Interfaces d'isolement			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Parafoudres coordonnés			X	X			X	X
Ecran spatial			X	X				
Réseaux externes blindés					X	X	X	X
Réseaux internes blindés			X	X				
Précautions de cheminement			X	X				
Réseau d'équipotentialité			X					
Précautions incendie		X				X		
Sensibilité au feu		X				X		
Danger particulier		X				X		
Tension de tenue aux chocs			X	X	X	X	X	X

^a Uniquement pour les SPF extérieurs maillés.

^b En raison des équipotentialités.

^c Uniquement s'ils appartiennent au matériel.

5 Evaluation des risques

5.1 Procédure de base

La procédure suivante doit être appliquée:

- identification de la structure à protéger et de ses caractéristiques;
- identification de tous les types de pertes dans la structure et du risque associé R (R_1 à R_4);
- évaluation du risque R pour chaque type de perte (R_1 à R_4);
- évaluation de la nécessité de protection en comparant les risques R_1 , R_2 et R_3 avec le risque tolérable R_T ;
- évaluation des impacts économiques d'une protection en comparant le coût des pertes totales avec et sans mesures de protection. Dans ce cas, l'évaluation des composantes du risque R_4 doit être réalisée pour évaluer ces coûts (voir Annexe D).

5.2 Structure à prendre en compte pour l'évaluation des risques

La structure à protéger comprend:

- la structure elle-même;
- les installations dans la structure;
- le contenu de la structure;
- les personnes dans la structure ou se trouvant dans les zones jusqu'à 3 m de l'extérieur de la structure;
- l'environnement affecté par un dommage sur une structure.

La protection n'englobe pas les services connectés à l'extérieur de la structure.

NOTE La structure à considérer peut être subdivisée en plusieurs zones (voir 6.7).

5.3 Risque tolérable R_T

Il est de la responsabilité de l'autorité de juridiction d'identifier la valeur du risque tolérable.

Des valeurs représentatives du risque tolérable R_T , lorsque les coups de foudre impliquent des pertes humaines ou des pertes de valeurs sociales ou culturelles, sont données dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Valeurs types pour le risque tolérable R_T

Types de pertes		R_T (y^{-1})
L1	Perte de vie humaine ou blessures permanentes	10^{-5}
L2	Perte de service public	10^{-3}
L3	Perte d'héritage culturel	10^{-4}

En principe, pour ce qui concerne les pertes de valeurs économiques (L4), la méthode applicable consiste à réaliser la comparaison de rentabilité (coûts-avantages) spécifiée à l'Annexe D. En l'absence de données relatives à cette analyse, la valeur représentative du risque tolérable $R_T = 10^{-3}$ peut être utilisée.

5.4 Procédure particulière pour évaluer le besoin de protection

Conformément à la CEI 62305-1, les risques R_1 , R_2 et R_3 doivent être pris en compte pour évaluer le besoin de protection contre la foudre.

Pour chacun des risques à considérer, les étapes suivantes doivent être suivies:

- identification des composantes R_X constituant le risque;
- calcul des composantes de risque identifiées R_X ;
- calcul du risque total R (voir 4.3);
- identification du risque tolérable R_T ;
- comparaison du risque R avec la valeur tolérable R_T .

Si $R \leq R_T$, une protection contre la foudre n'est pas nécessaire.

Si $R > R_T$, des mesures de protection doivent être prises pour réduire $R \leq R_T$ pour tous les risques auxquels la structure est soumise.

La procédure pour évaluer le besoin de protection est donnée à la Figure 1.

NOTE 1 Lorsque le risque ne peut être réduit à un niveau tolérable, il convient d'informer le propriétaire du site et d'assurer le niveau de protection le plus élevé à l'installation.

NOTE 2 Lorsque l'autorité de juridiction exige une protection contre la foudre des structures avec risque d'explosion, il convient d'adopter au moins un SPF de classe II. Des exceptions à l'utilisation d'une protection contre la foudre de niveau II peuvent être admises lorsqu'elles sont justifiées d'un point de vue technique et autorisées par l'autorité de juridiction. Par exemple, l'utilisation d'une protection contre la foudre de niveau I est admise dans tous les cas, notamment lorsque les environnements ou le contenu de la structure sont exceptionnellement sensibles aux effets de la foudre. De plus, les autorités de juridiction peuvent décider d'autoriser des systèmes de protection contre la foudre de niveau III lorsque la rareté de l'activité de foudre et/ou l'insensibilité du contenu de la structure le garantit.

NOTE 3 Lorsque les dommages sur une structure dus à la foudre peuvent également impliquer des structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives), les autorités de juridiction peuvent exiger de mettre en œuvre des mesures de protection complémentaires et d'appliquer des mesures appropriées pour la structure.

5.5 Procédure d'évaluation des impacts économiques de la protection

En plus du besoin d'une protection contre la foudre pour une structure, il peut être utile de s'assurer des bénéfices économiques de mise en œuvre de mesures de protection afin de réduire la perte économique L_4 .

L'évaluation des composantes du risque R_4 permet à l'utilisateur d'évaluer le coût des pertes économiques avec ou sans mesures de protection (voir l'Annexe D).

La méthode d'évaluation des impacts économiques d'une protection nécessite:

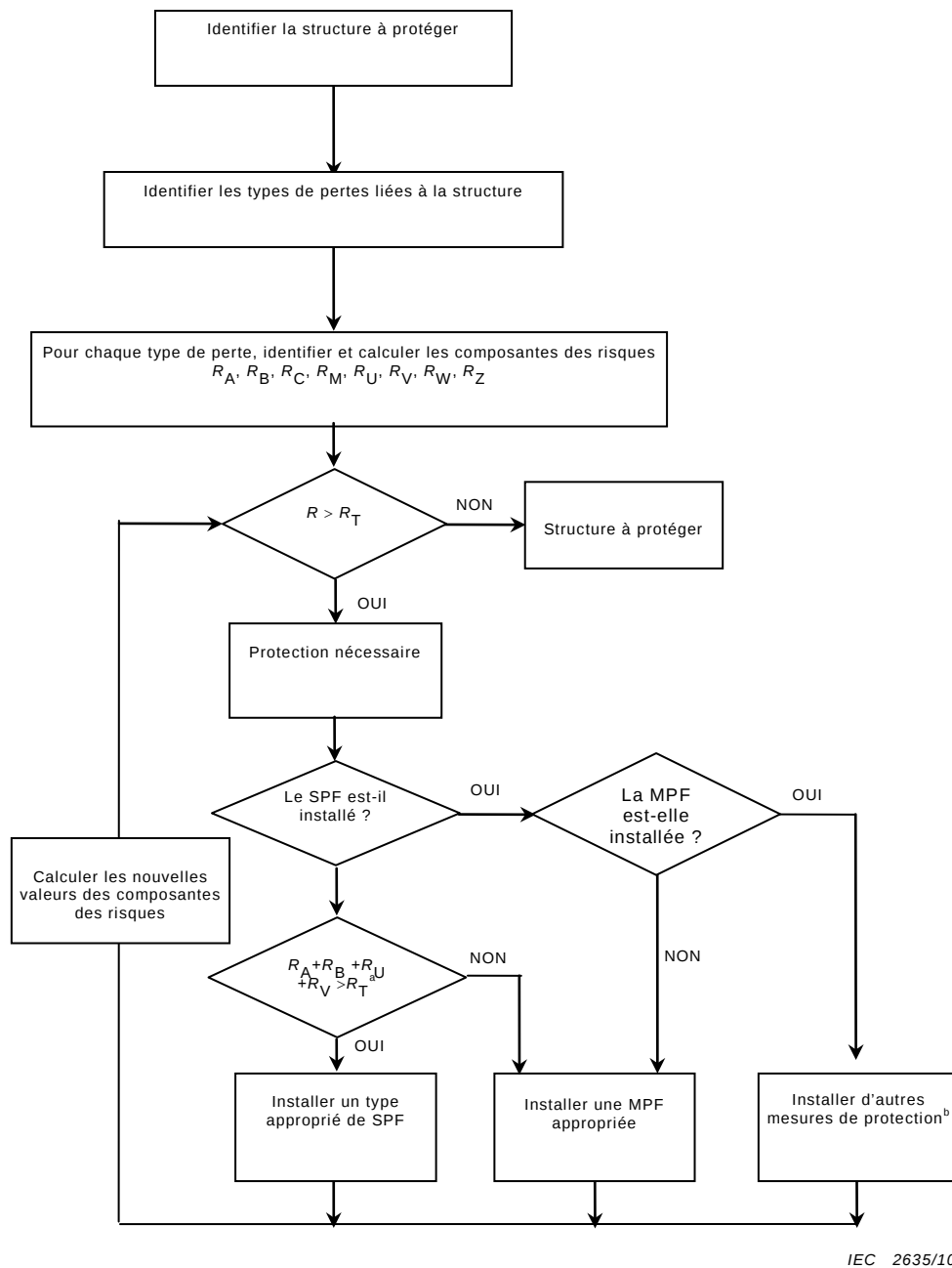
- l'identification des composantes R_X constituant le risque R_4 ;
- le calcul des composantes du risque R_X identifiées, en l'absence de mesures de protection nouvelles ou supplémentaires;
- le calcul du coût annuel des pertes dû à chacune des composantes du risque R_X ;
- le calcul du coût annuel C_L de la perte totale en l'absence de mesures de protection;
- l'adoption des mesures de protection choisies;
- le calcul des composantes du risque R_X en présence de mesures de protection choisies;
- le calcul du coût annuel des pertes résiduelles dû à chacune des composantes du risque R_X dans la structure protégée;
- le calcul du coût total annuel C_{RL} des pertes résiduelles en présence des mesures de protection choisies;
- le calcul du coût annuel C_{PM} des mesures de protection choisies;
- la comparaison des coûts.

Si $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, une protection contre la foudre peut s'avérer coûteuse.

Si $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, les mesures de protection peuvent s'avérer économiques sur la durée de vie de la structure.

La procédure pour évaluer les impacts économiques d'une protection est donnée à la Figure 2.

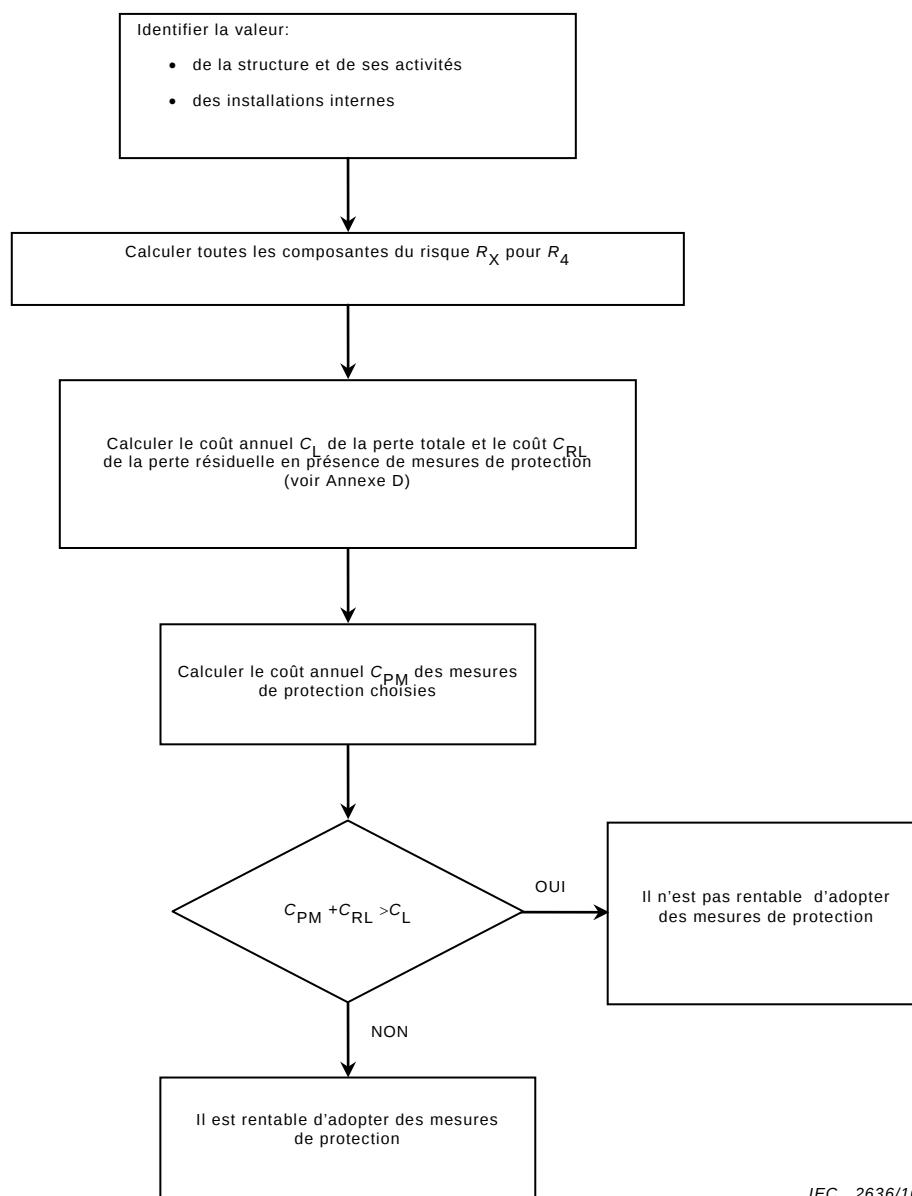
Il peut se révéler utile d'évaluer certaines variantes de combinaison de mesures de protection pour obtenir la solution optimale concernant les impacts économiques.



^a Si $R_A + R_B < R_T$, un SPF complet n'est pas nécessaire; auquel cas un ou des parafoudres conformes à la CEI 62305-3 sont suffisants.

^b Voir Tableau 3.

Figure 1 – Procédure pour la décision du besoin de protection et pour le choix des mesures de protection



IEC 2636/10

Figure 2 – Procédure d'évaluation des impacts économiques des mesures de protection

5.6 Mesures de protection

Les mesures de protection sont destinées à réduire le risque associé au type de dommages.

Les mesures de protection ne doivent être considérées comme fiables que si elles satisfont aux exigences des normes applicables suivantes:

- CEI 62305-3 pour la protection contre les blessures d'êtres vivants et les dommages physiques dans une structure;
- CEI 62305-4 pour la protection contre les défaillances des réseaux de puissance et de communication.

5.7 Choix des mesures de protection

Le choix des mesures de protection les plus adaptées doit être effectué par le concepteur selon la répartition de chaque composante de risque du risque total R et selon les aspects techniques et économiques des diverses mesures de protection.

Les paramètres critiques doivent être identifiés afin de déterminer la mesure la plus efficace de réduction du risque R .

Pour chaque type de perte, plusieurs mesures de protection individuelles ou associées rendent la condition $R \leq R_T$. La solution à adopter doit être choisie à partir de cette condition en tenant compte des aspects techniques et économiques. Une méthode simplifiée de choix de mesures de protection est indiquée dans le diagramme de la Figure 1. Dans tous les cas, il convient que l'installateur et l'architecte identifient les composantes du risque les plus critiques et les réduisent, en tenant compte des aspects économiques.

6 Evaluation des composantes de risque

6.1 Formule de base

Chaque composante de risque R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W et R_Z , comme explicité en 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 and 4.2.5 peut être exprimée par l'équation générale suivante:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

où

N_X est le nombre annuel d'événements dangereux (voir aussi l'Annexe A);

P_X est la probabilité de dommages pour une structure (voir aussi l'Annexe B);

L_X est la perte consécutive (voir aussi l'Annexe C).

Le nombre N_X d'événements dangereux est affecté par la densité de foudroiement (N_G) et par les caractéristiques physiques de la structure à protéger, son entourage, les services connectés et le sol.

La probabilité de dommage P_X est affectée par les caractéristiques de la structure à protéger, les services connectés et les mesures de protection fournies.

La perte consécutive L_X est affectée par l'utilisation assignée à la structure, la présence de personnes, le type de service fourni au public, la valeur des biens affectés par les dommages et les mesures fournies pour limiter le montant des pertes.

NOTE Lorsque les dommages sur une structure dus à la foudre peuvent également impliquer des structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives), il convient d'ajouter les pertes consécutives à la valeur de L_X .

6.2 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une structure (S1)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre sur la structure, les relations suivantes s'appliquent:

- composantes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

- composantes associées aux dommages physiques (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

Les paramètres pour l'évaluation de ces composantes de risque sont indiqués dans le Tableau 5.

6.3 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts à proximité de la structure (S2)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre à proximité de la structure, les relations suivantes s'appliquent:

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

Les paramètres pour l'évaluation de ces composantes de risque sont indiqués dans le Tableau 5.

6.4 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur un service connecté à la structure (S3)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre sur un service entrant, les relations suivantes s'appliquent:

- composantes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

- composantes associées aux dommages physiques (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTE 1 Dans de nombreux cas N_{DJ} peut être omis.

Les paramètres pour l'évaluation de ces composantes de risque sont indiqués dans le Tableau 5.

Si le service a plusieurs sections (voir 6.8), les valeurs de R_U , R_V et R_W sont la somme des valeurs R_U , R_V et R_W de chaque section de service. Les sections à considérer sont celles entre la structure et le premier nœud de la distribution.

Dans le cas de structures avec plusieurs services connectés avec des cheminements différents, les calculs doivent être effectués pour chaque service.

Dans le cas d'une structure comportant plusieurs services connectés avec le même cheminement, les calculs ne doivent être réalisés que pour le service présentant les caractéristiques les plus défavorables, c'est-à-dire le service avec les valeurs les plus élevées de N_L et N_I , connecté au réseau interne avec la valeur la plus faible de U_W (service de communication par rapport au service de puissance, service non blindé par rapport au service blindé, service de puissance BT par rapport au service de puissance HT avec transformateur HT/BT, etc.).

NOTE 2 Dans le cas de services présentant un chevauchement de la surface équivalente d'exposition, il convient de considérer la zone de chevauchement une seule fois.

6.5 Evaluation de la composante du risque dû aux impacts à proximité d'un service connecté à la structure (S4)

Pour l'évaluation des composantes de risque associées aux impacts de foudre à proximité d'un service connecté à la structure, les relations suivantes s'appliquent:

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

Les paramètres pour l'évaluation de ces composantes de risque sont indiqués dans le Tableau 5.

Si le service a plusieurs sections (voir 6.8), la valeur de R_Z est la somme des composantes R_Z concernant chaque section de service. Les sections à considérer sont celles entre la structure et le premier nœud de la distribution.

Tableau 5 – Paramètres associés à l'évaluation des composantes de risque

Symbole	Dénomination	Valeur selon Article
Nombre annuel moyen d'événements dangereux dus aux impacts		
N_D	– sur la structure	A.2
N_M	– à proximité de la structure	A.3
N_L	– sur un service entrant dans la structure	A.4
N_I	– à proximité d'un service entrant dans la structure	A.5
N_{DJ}	– sur la structure adjacente (voir Figure A.5)	A.2
Probabilité qu'un impact sur la structure causera		
P_A	– des blessures d'êtres vivants par choc électrique	B.2
P_B	– des dommages physiques	B.3
P_C	– des défaillances des réseaux internes	B.4
Probabilité qu'un impact à proximité de la structure causera		
P_M	– des défaillances des réseaux internes	B.5
Probabilité qu'un impact sur un service causera		
P_U	– des blessures d'êtres vivants par choc électrique	B.6
P_V	– des dommages physiques	B.7
P_W	– des défaillances des réseaux internes	B.8
Probabilité qu'un impact à proximité d'un service causera		
P_Z	– des défaillances des réseaux internes	B.9
Pertes dues à		
$L_A = L_U$	– des blessures d'êtres vivants par choc électrique	C.3
$L_B = L_V$	– des dommages physiques	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	– des défaillances des réseaux internes	C.3, C.4, C.6

Dans le cas de structures avec plusieurs services connectés avec des cheminements différents, les calculs doivent être effectués pour chaque service.

Dans le cas d'une structure comportant plusieurs services connectés avec le même cheminement, les calculs ne doivent être réalisés que pour le service présentant les caractéristiques les plus défavorables, c'est-à-dire le service avec les valeurs les plus élevées de N_L et N_I , connecté au réseau interne avec la valeur la plus faible de U_W (service de communication par rapport au service de puissance, service non blindé par rapport au

service blindé, service de puissance BT par rapport au service de puissance HT avec transformateur HT/BT, etc.)

6.6 Synthèse des composantes de risque

Les composantes de risque dans les structures sont récapitulées dans le Tableau 6, en fonction des différents types de dommages et des différentes sources de dommages.

Tableau 6 – Composantes de risque pour différents types de dommages causés par différentes sources

Dommages	Source de dommage			
	S1 Impact sur une structure	S2 Impact à proximité d'une structure	S3 Impact sur un service entrant	S4 Impact à proximité d'un service
D1 Blessures d'êtres vivants par choc électrique	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Dommages physiques	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Défaillance des réseaux de puissance et de communication	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Si la structure est divisée en zones Z_S (voir 6.7), chaque composante de risque doit être évaluée pour chaque zone Z_S .

Le risque total R de la structure est la somme des composantes de risque associées aux zones Z_S qui constituent la structure.

6.7 Partition d'une structure en zones Z_S

Pour évaluer chaque composante de risque, la structure peut être divisée en zones Z_S présentant chacune des caractéristiques homogènes. Toutefois, une structure peut être une zone unique ou être estimée comme telle.

Les zones Z_S sont essentiellement définies par:

- le type de sol ou de plancher (composantes de risque R_A et R_U);
- les compartiments à l'épreuve du feu (composantes de risque R_B et R_V);
- les blindages spatiaux (composantes de risque R_C et R_M).

D'autres zones peuvent être définies selon

- la disposition des réseaux internes (composantes de risque R_C et R_M),
- des mesures de protection existantes ou à prévoir (toutes les composantes de risque),
- des valeurs de pertes L_X (toutes les composantes de risque).

Il convient que la partition de la structure en zones Z_S tienne compte de la faisabilité des mesures de protection les plus appropriées.

NOTE Les zones Z_S conformes à la présente partie de la CEI 62305 peuvent être une ZPF conformément à la CEI 62305-4. Cependant, elles peuvent également être différentes des ZPF.

6.8 Partition d'un service en sections S_L

Pour évaluer les composantes de risque dû à un coup de foudre sur ou à proximité d'un service, le service peut être divisé en sections S_L . Toutefois, un service peut être une section unique ou être estimé comme tel.

Pour toutes les composantes de risque, les sections S_L sont essentiellement définies par

- le type de service (aérien ou enterré),
- les facteurs affectant la surface équivalente d'exposition (C_D , C_E , C_T),
- les caractéristiques du service (blindé ou non blindé, résistance de blindage).

Si plus d'une valeur d'un paramètre est obtenue dans une section, la valeur la plus défavorable doit être choisie.

6.9 Evaluation des composantes de risque dans une structure avec des zones Z_S

6.9.1 Critères généraux

Pour l'évaluation des composantes de risque et le choix des paramètres appropriés, les règles suivantes s'appliquent:

- les paramètres relatifs au nombre N d'événements dangereux doivent être calculés conformément à l'Annexe A;
- les paramètres relatifs à la probabilité P de dommage doivent être calculés conformément à l'Annexe B.

De plus:

- pour les composantes R_A , R_B , R_U , R_V , R_W et R_Z , seule une valeur est fixée pour chacun des paramètres. Si plusieurs valeurs sont applicables, la valeur la plus élevée doit être choisie.
- pour les composantes R_C et R_M , si plus d'un réseau interne est impliqué dans la zone, les valeurs de P_C et P_M sont données par:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (14)$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (15)$$

où P_{Ci} , P_{Mi} sont les paramètres relatifs aux réseaux internes $i = 1, 2, 3, \dots$

- pour les paramètres relatifs aux pertes L , on doit calculer L conformément à l'Annexe C.

A l'exception de P_C et de P_M , si plus d'une valeur de tout autre paramètre existe dans une zone, la valeur du paramètre conduisant à la valeur la plus élevée du risque doit être prise.

6.9.2 Structure avec une seule zone

Dans ce cas, une seule zone Z_S coïncidant avec l'ensemble de la structure est définie. Le risque R est la somme des composantes de risque R_X dans cette zone.

Le fait de supposer une seule zone dans la structure peut conduire à des mesures de protection onéreuses car il faut étendre chaque mesure à l'ensemble de la structure.

6.9.3 Structure à zones multiples

Dans ce cas, la structure est divisée en plusieurs zones Z_S . Le risque pour la structure est la somme des risques relatifs à toutes les zones de la structure; dans chaque zone, le risque est la somme de toutes les composantes de risque de la zone.

La répartition de la structure en zones permet au concepteur de prendre en compte les caractéristiques de chaque partie de la structure pour l'évaluation des composantes de risque et de choisir les mesures de protection les plus appropriées zone par zone, afin de réduire le coût total de la protection contre la foudre.

6.10 Analyse de rentabilité pour la perte économique (L4)

Que la protection contre la foudre soit nécessaire ou non, afin de réduire les risques R_1 , R_2 , et R_3 , il est utile d'évaluer les conséquences économiques des mesures de protection afin de réduire le risque R_4 de perte économique.

Les points pour lesquels l'évaluation du risque R_4 est à effectuer, doivent être définis selon

- l'ensemble de la structure,
- une partie de la structure,
- une installation intérieure,
- une partie d'installation intérieure,
- un matériel,
- le contenu de la structure.

Il convient d'évaluer le coût des pertes, le coût des mesures de protection et les éventuelles économies conformément à l'Annexe D. En l'absence de données pour cette analyse, la valeur représentative du risque tolérable $R_T = 10^{-3}$ peut être utilisée.

Annexe A (informative)

Evaluation du nombre annuel N d'événements dangereux

A.1 Généralités

Le nombre annuel moyen N d'événements dangereux dus aux coups de foudre intéressant une structure à protéger dépend de l'activité orageuse de la région où se situe la structure et de ses caractéristiques physiques. Il convient de calculer le nombre N en multipliant la densité de foudroiement (N_G) par la surface équivalente d'exposition de la structure et en prenant en compte le facteur de correction des caractéristiques physiques de la structure.

La densité de foudroiement N_G , est le nombre de coups de foudre par km² et par an. Cette valeur est obtenue auprès des réseaux de localisation des coups de foudre au sol dans la plupart des régions du monde.

NOTE Si la carte de N_G n'est pas disponible, il peut être estimé, dans les régions tempérées, comme suit:

$$N_G \approx 0,1 T_D \quad (\text{A.1})$$

où T_D , est le nombre de jours d'orage par an (peut être obtenu à partir des cartes cérauniques).

Les événements qui peuvent être considérés comme dangereux pour une structure à protéger sont:

- les impacts sur la structure,
- les impacts à proximité de la structure,
- les impacts sur un service entrant dans la structure,
- les impacts à proximité d'un service entrant dans la structure,
- les impacts sur une autre structure connectée à un service.

A.2 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux N_D dus aux coups de foudre sur une structure et N_{DJ} sur une structure adjacente

A.2.1 Détermination de la surface équivalente d'exposition A_D

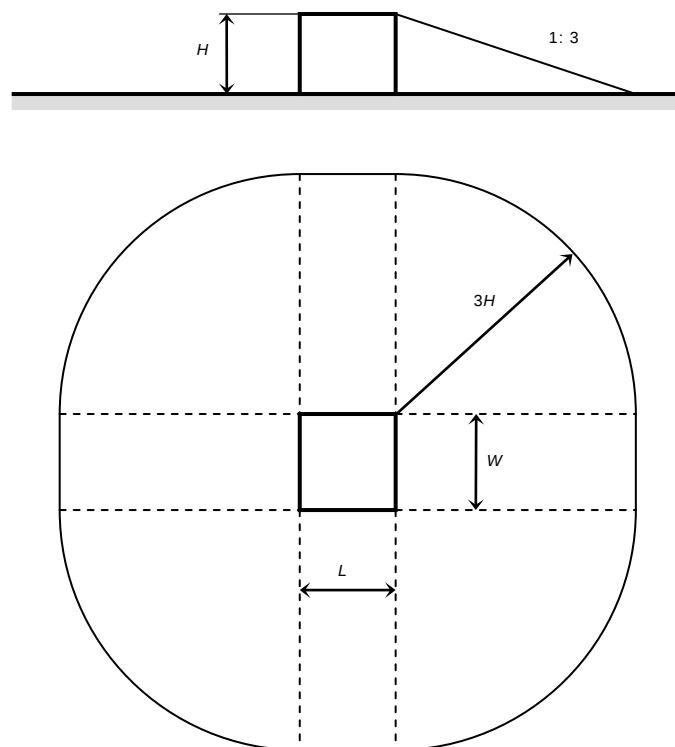
Pour des structures isolées en terrain plat, la surface équivalente d'exposition A_D est la zone définie par l'intersection entre la surface du sol et une droite avec une pente de 1/3 qui passe par les parties les plus élevées de la structure (en les touchant à cet endroit) et en tournant autour de celle-ci. Une évaluation de A_D peut être réalisée par une méthode graphique ou mathématique.

A.2.1.1 Structure rectangulaire

Pour une structure rectangulaire isolée de longueur L , de largeur W et de hauteur H sur un sol plat, la surface équivalente d'exposition est égale à:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (\text{A.2})$$

où L , W et H sont exprimées en mètres (voir la Figure A.1).



IEC 2637/10

Figure A.1 – Surface équivalente d'exposition A_D d'une structure isolée

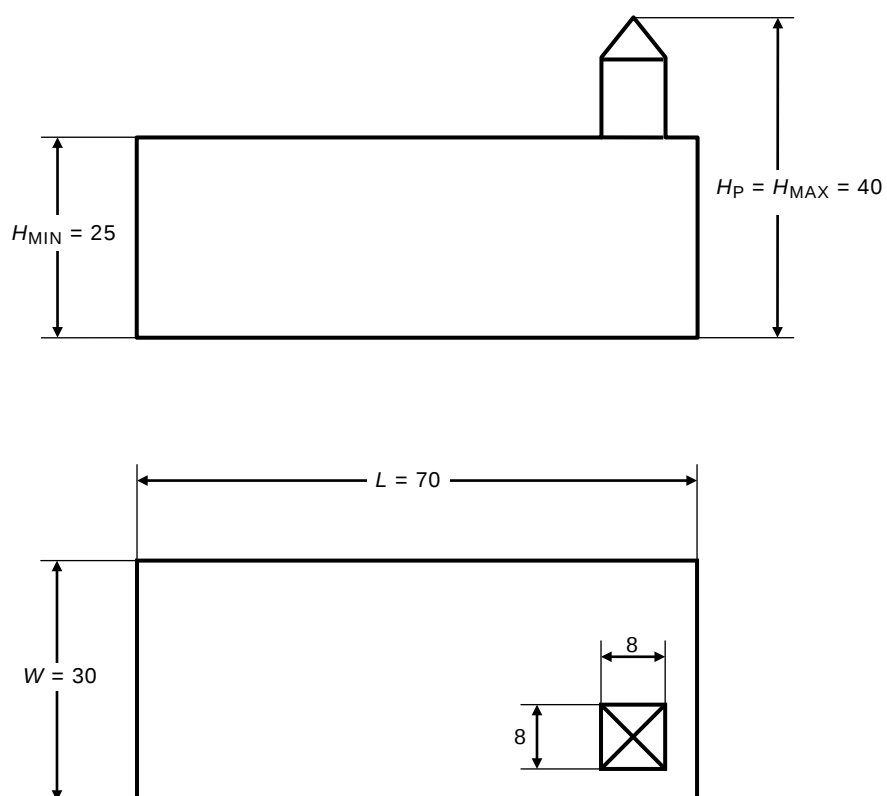
A.2.1.2 Structure de forme complexe

Si la structure a une forme complexe, par exemple avec toiture en pointe élevée (voir Figure A.2), il convient d'utiliser une méthode graphique pour évaluer A_D (voir Figure A.3).

Une valeur approximative acceptable de la surface équivalente d'exposition est le maximum entre $A_{D\text{MIN}}$ évaluée (A.2) en tenant compte de la hauteur minimale H_{MIN} de la structure et la surface équivalente d'exposition attribuée à la toiture en pointe élevée A_D' . A_D' peut être calculé avec:

$$A_D' = \pi \times (3 \times H_p)^2 \quad (\text{A.3})$$

où H_p est la hauteur de la pointe.



IEC 2638/10

Figure A.2 – Structure de forme complexe

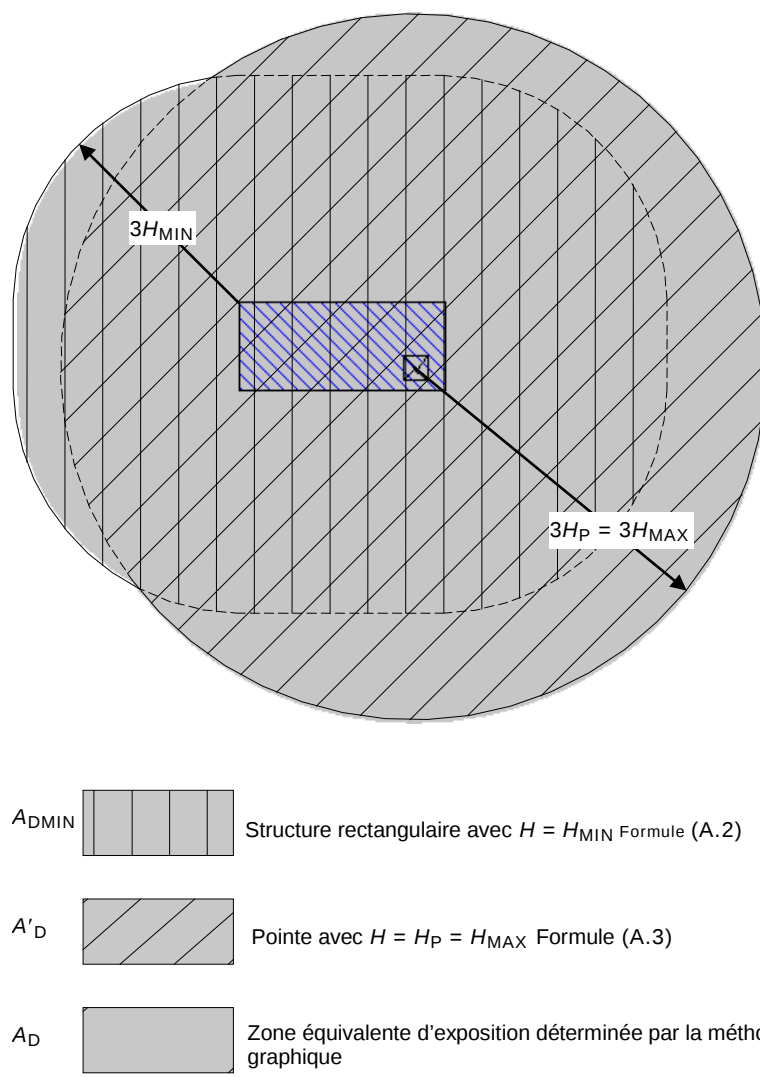


Figure A.3 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure concernée

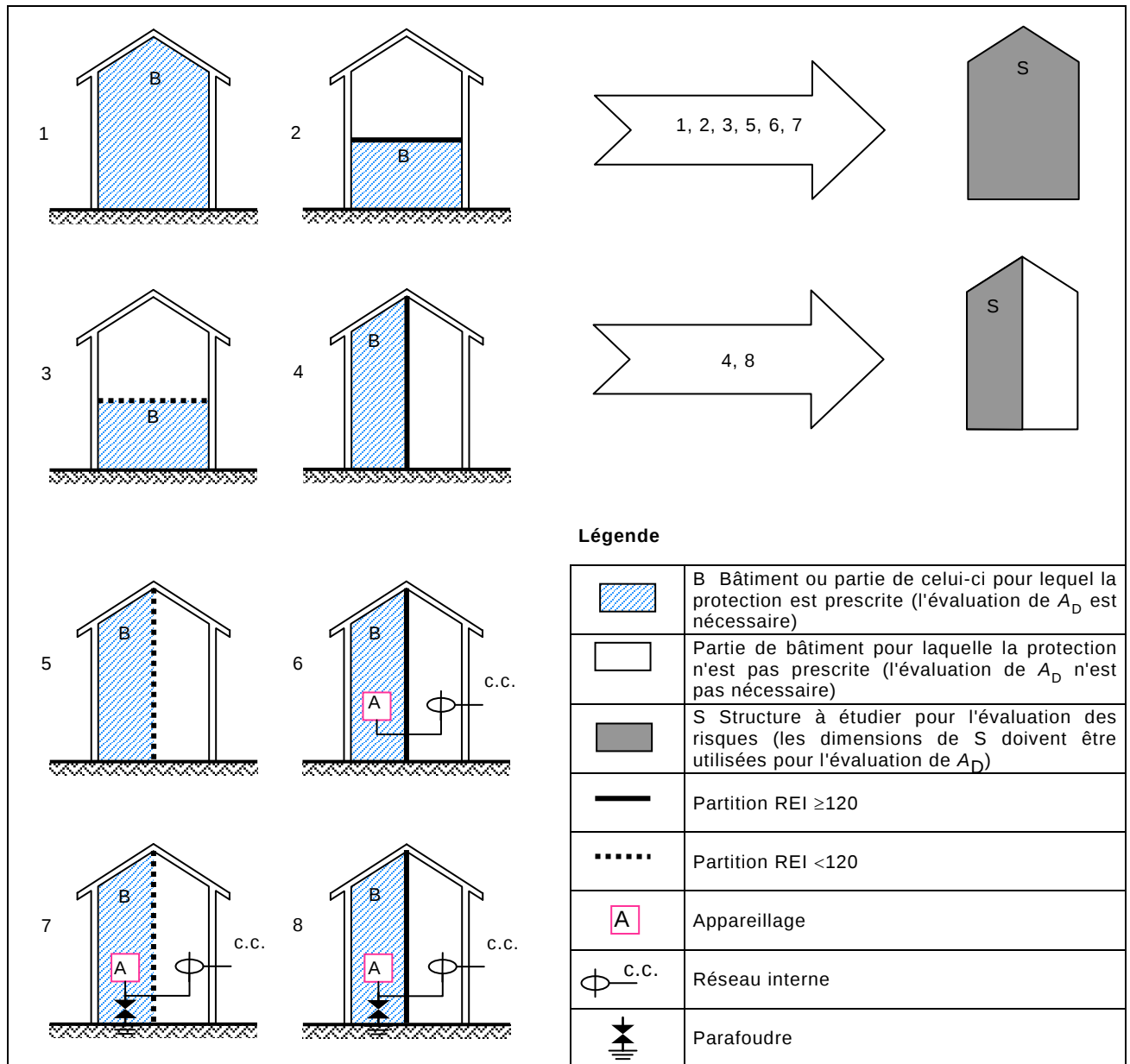
A.2.2 Structure faisant partie d'un bâtiment

Lorsque la structure S à considérer correspond à une seule partie d'un bâtiment B , les dimensions de la structure S peuvent être utilisées dans l'évaluation de A_D si les conditions suivantes sont remplies (voir Figure A.4):

- la structure S est une partie verticale séparée du bâtiment B ;
- le bâtiment B est une structure sans risque d'explosion;
- la propagation du feu entre la structure S et d'autres parties du bâtiment B est évitée au moyen de parois présentant une résistance au feu de 120 min (REI 120) ou au moyen d'autres mesures de protection équivalente;
- la propagation des surtensions le long des services communs, s'il y en a, est évitée au moyen d'un parafoudre installé au point d'entrée de tels services dans la structure ou au moyen d'autres mesures de protection équivalentes.

NOTE Pour la définition et des informations sur REI, voir [6].

Lorsque ces conditions ne sont pas satisfaites, il convient d'utiliser les dimensions de l'ensemble du bâtiment B.



IEC 2640/10

Figure A.4 – Structure à considérer pour l'évaluation de la surface équivalente d'exposition A_D

A.2.3 Emplacement relatif d'une structure

L'emplacement relatif d'une structure dépend des structures environnantes ou de l'exposition de la structure pris en compte par un facteur d'emplacement C_D (voir Tableau A.1).

Une évaluation plus précise de l'influence des objets environnants peut être obtenue en tenant compte de la hauteur relative de la structure par rapport aux objets qui l'entourent ou au sol à une distance de $3 \times H$ de la structure et en supposant $C_D = 1$.

Tableau A.1 – Facteur d'emplacement C_D

Emplacement relatif	C_D
Structure entourée par des objets plus hauts	0,25
Structure entourée par des objets de la même hauteur ou plus petits	0,5
Structure isolée: pas d'autres objets à proximité	1
Structure isolée au sommet d'une colline ou sur un monticule	2

A.2.4 Nombre d'événements dangereux N_D pour une structure

N_D peut être évalué comme le produit:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

où

N_G est la densité de foudrolement (1/km²/an);

A_D est la surface équivalente d'exposition de la structure (m²) (voir Figure A.5);

C_D est le facteur d'emplacement de la structure à protéger (voir Tableau A.1).

A.2.5 Nombre d'événements dangereux N_{DJ} pour une structure adjacente

Le nombre annuel moyen d'événements dangereux N_{DJ} dus à des impacts sur une structure connectée à l'extrémité d'un service (voir 6.5 et Figure A.5) peut être évalué comme le produit:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.5})$$

où

N_G est la densité de foudrolement (1/km²/an);

A_{DJ} est la surface équivalente d'exposition de la structure adjacente (m²) (voir Figure A.5);

C_{DJ} est le facteur d'emplacement de la structure adjacente (voir Tableau A.1);

C_T est le facteur de type de service (voir Tableau A.3).

A.3 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure N_M

N_M peut être évalué comme le produit:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (\text{A.6})$$

où

N_G est la densité de foudrolement (coups/km²/an);

A_M est la zone équivalente d'exposition pour les impacts à proximité d'une structure (m²).

La zone équivalente d'exposition A_M s'étend jusqu'à un service distant de 500 m de la périphérie de la structure (voir Figure A.5).

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (\text{A.7})$$

A.4 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service N_L

Un service peut comprendre plusieurs sections. Pour chaque section de service, N_L peut être évalué par:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_i \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.8})$$

où

N_L est le nombre de surtensions d'amplitude non inférieure à 1 kV (1/an) sur la section de service)

N_G est la densité de foudrolement (1/km² /an);

A_L est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre sur le service (m²) (voir Figure A.5);

C_i est le facteur d'installation (voir Tableau A.2);

C_T est le facteur de type de service (voir Tableau A.3);

C_E est le facteur d'environnement (voir Tableau A.4);

avec la surface équivalente d'exposition pour des coups de foudre sur un service:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (\text{A.9})$$

L_L est la longueur de la section de service (m).

Lorsque la longueur d'une section de service est inconnue, on estime que $L_L = 1\,000$ m.

NOTE 1 Les comités nationaux peuvent améliorer ces informations afin de mieux satisfaire aux conditions nationales en matière de services de puissance et de communication.

Tableau A.2 – Facteur d'installation C_i

Cheminement	C_i
Aérien	1
Enterré	0,5
Câbles enterrés entièrement posés dans un réseau maillé de terre (5.2 de la CEI 62305-4:2010)	0

Tableau A.3 – Facteur de type de service C_T

Installation	C_T
Service de puissance BT, de communication ou de transmission de données	1
Service de puissance HT (avec transformateur HT/BT)	0,2

Tableau A.4 – Facteur d'environnement C_E

Environnement	C_E
Rural	1
Suburbain	0,5
Urbain	0,1
Urbain avec bâtiments de grande hauteur ^a	0,01
^a Hauteur des bâtiments supérieure à 20 m.	

NOTE 2 La résistivité du sol affecte la surface équivalente d'exposition A_L des sections enterrées. En règle générale, plus la résistivité du sol est importante, plus la surface équivalente d'exposition est grande (A_L proportionnelle à $\sqrt{\rho}$). Le facteur d'installation du Tableau A.2 est basé sur $\rho = 400 \Omega\text{m}$

NOTE 3 Des informations détaillées sur les surfaces équivalentes d'exposition A_i des services de communication peuvent être trouvées dans la Recommandation UIT-T K. 47^[7].

A.5 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service N_i

Un service peut comprendre plusieurs sections. Pour chaque section de service, la valeur de N_i peut être évaluée par

$$N_i = N_G \times A_i \times C_i \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

où

N_i est le nombre de surtensions d'amplitude non inférieure à 1 kV (1/an) sur la section de service

N_G est la densité de foudroiement (1/km²/an);

A_i est la surface équivalente d'exposition des coups de foudre au sol à proximité du service (m²) (voir Figure A.5);

C_i est le facteur d'installation (voir Tableau A.2);

C_T est le facteur de type de service (voir Tableau A.3);

C_E est le facteur d'environnement (voir Tableau A.4);

avec la surface équivalente d'exposition pour des coups de foudre à proximité d'un service

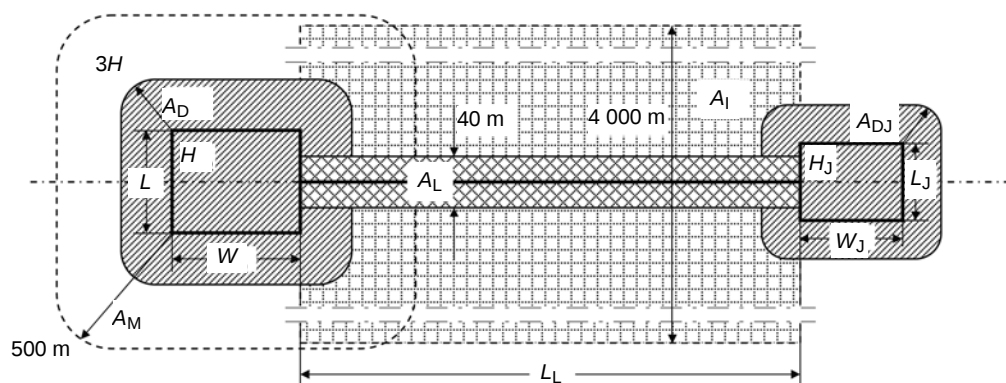
$$A_L = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

L_L est la longueur de la section de service (m).

Lorsque la longueur d'une section de service est inconnue, on suppose que $L_L = 1\,000$ m.

NOTE 1 Les comités nationaux peuvent améliorer ces informations afin de mieux satisfaire aux conditions nationales en matière de services de puissance et de communication.

NOTE 2 Une évaluation plus précise de A_i peut être trouvée dans Electra no. 161^[8] et 162^[9], 1995 pour les services de puissance et dans la Recommandation UIT-T K. 46^[10] pour les services de communication.



IEC 2641/10

Figure A.5 – Surfaces équivalentes d'exposition (A_D , A_M , A_I , A_L)

Annexe B (informative)

Evaluation de la probabilité de dommages P_X d'une structure

B.1 Généralités

Les probabilités données dans la présente annexe sont valables si les mesures de protection sont conformes à:

- la CEI 62305-3 pour les mesures de protection réduisant les blessures d'êtres vivants et les dommages physiques;
- la CEI 62305-4 pour les mesures de protection réduisant les défaillances des réseaux internes.

D'autres valeurs peuvent être choisies si cela est justifié.

Les valeurs des probabilités P_X inférieures à 1 peuvent uniquement être prises, si la mesure ou la caractéristique est valable pour la structure entière ou la zone de structure (Z_S) à protéger et pour tous les matériels associés.

B.2 Probabilité P_A pour qu'un impact sur la structure entraîne des blessures d'êtres vivants par choc électrique

Les valeurs de probabilité P_A de chocs sur des êtres vivants dus à des tensions de contact et de pas en raison d'impacts sur une structure dépendent du SPF adopté et des mesures de protection complémentaires fournies.

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

où

P_{TA} dépend des mesures de protection complémentaires contre les tensions de contact et de pas, telles que répertoriées dans le Tableau B.1. Les valeurs de P_{TA} sont données dans le Tableau B.1.

P_B dépend du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lequel le SPF conforme à la CEI 62305-3 est conçu. Les valeurs de P_B sont données dans le Tableau B.2.

Tableau B.1 – Valeurs de probabilité P_{TA} pour qu'un impact sur la structure entraîne des chocs sur des êtres vivants dus à des tensions dangereuses de contact et de pas

Mesure de protection complémentaire	P_{TA}
Pas de mesures de protection	1
Plaques d'avertissement	10^{-1}
Isolation électrique (par exemple au moins 3 mm de polyéthylène réticulé) des parties exposées (par exemple conducteurs de descente)	10^{-2}
Sol équipotentiel efficace	10^{-2}
Restrictions ou armature physiques telles que réseau de conducteurs de descente	0

Si plusieurs mesures de protection ont été prises, la valeur de P_{TA} est le produit des valeurs correspondantes.

NOTE 1 Les mesures de protection ne permettent de réduire P_A que dans les structures protégées par un SPF ou les structures à armature continue en métal ou en béton armé agissant comme un SPF naturel, satisfaisant aux exigences d'équipotentialité et de mise à la terre de la CEI 62305-3.

NOTE 2 Pour plus d'informations, voir 8.1 et 8.2 de la CEI 62305-3:2010.

B.3 Probabilité P_B pour qu'un impact sur une structure entraîne des dommages physiques

Un SPF est approprié comme mesure de protection pour réduire P_B .

Les valeurs de probabilité P_B de dommages physiques dus à un impact sur une structure sont données dans le Tableau B.2 en fonction du niveau de protection contre la foudre (NPF).

Tableau B.2– Valeurs de P_B en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques

Caractéristiques de la structure	Classe de SPF	P_B
Structure non protégée par SPF	–	1
Structure protégée par SPF	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure avec dispositif de capture de SPF I et avec armatures en métal continues ou en béton armé agissant comme réseau de conducteurs de descente naturels		0,01
Structure avec toiture métallique ou avec dispositif de capture, possibilité d'inclure des composants naturels, assurant une protection complète des matériels sur le toit contre les coups de foudre directs et armatures en métal continues ou en béton armé agissant comme réseau de conducteurs de descente naturels		0,001

NOTE 1 Des valeurs de P_B autres que celles données dans le Tableau B.2 sont possibles si elles ont été correctement évaluées selon les exigences d'interception et de dimensionnement de la CEI 62305-1.

NOTE 2 Les caractéristiques du SPF, y compris celles du parafoudre pour l'équipotentialité, sont indiquées dans la CEI 62305-3.

B.4 Probabilité P_C pour qu'un impact sur une structure entraîne des défaillances des réseaux internes

Un système de protection coordonnée par parafoudres est approprié comme mesure de protection pour réduire P_C .

Les valeurs de probabilité P_C de défaillances des réseaux internes dues à un impact sur une structure sont données par:

$$P_C = P_{\text{parafoudre}} \times C_{LD} \quad (\text{B.2})$$

Les valeurs de $P_{\text{parafoudre}}$ dépendent du système de protection coordonnée par parafoudres conforme à la CEI 62305-4 et du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lesquels les parafoudres sont conçus comme indiqué dans le Tableau B.3.

C_{LD} est un facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service auquel est connecté le réseau interne. Les valeurs de C_{LD} sont données dans le Tableau B.4.

Tableau B.3 – Valeur de probabilité $P_{\text{parafoudre}}$ en fonction des niveaux de protection contre la foudre pour lesquels le parafoudre est conçu

Niveau de protection	$P_{\text{parafoudre}}$
Pas de parafoudres coordonnés	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 2	0,005 – 0,001

NOTE 1 Seule une protection coordonnée par parafoudres est adaptée comme mesure de protection pour réduire P_C . Une telle protection est efficace si la structure est protégée par SPF ou si les structures présentent des armatures métalliques continues ou en béton armé continues agissant comme SPF naturel, lorsque les exigences d'équipotentialité et de mise à la terre de la CEI 62305-3 sont satisfaites.

NOTE 2 Les valeurs de $P_{\text{parafoudre}}$ peuvent être réduites pour les parafoudres ayant de meilleures caractéristiques de protection (courant nominal supérieur I_N , niveau de protection inférieur U_p , etc.) concernant les exigences définies pour NPF I aux emplacements d'installation correspondants (voir. CEI 62305-1:2010 Tableau A.3 pour des informations sur les probabilités de courant de foudre et CEI 62305-1:2010 Annexe E et CEI 62305-4:2010 Annexe D pour le partage du courant de foudre). Les mêmes annexes peuvent être utilisées pour des parafoudres ayant des probabilités supérieures $P_{\text{parafoudre}}$.

Tableau B.4 – Valeurs des facteurs C_{LD} et C_{LI} associés aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation

Type de service extérieur	Connexion à l'entrée	C_{LD}	C_{LI}
Service aérien non blindé	Non définie	1	1
Service enterré non blindé	Non définie	1	1
Service de puissance à neutre mis à la terre en plusieurs emplacements	Aucun	1	0,2
Service enterré blindé (de puissance ou de communication)	Blindage non relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0,3
Service aérien blindé (de puissance ou de communication)	Blindage non relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0,1
Service enterré blindé (de puissance ou de communication)	Blindage relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0
Service aérien blindé (de puissance ou de communication)	Blindage relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0
Câble de protection contre la foudre ou câblage dans les conduits ou canalisations métalliques de câble de protection contre la foudre	Blindage relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	0	0
(Pas de service extérieur)	Pas de connexion aux services extérieurs (réseaux autonomes)	0	0
Tout type	Interface d'isolement selon la CEI 62305-4	0	0

NOTE 3 Pour l'évaluation de la probabilité P_C , les valeurs de C_{LD} données dans le Tableau B.4 font référence aux réseaux internes blindés; pour des réseaux internes non blindés, il convient de supposer que $C_{LD} = 1$

NOTE 4 Pour les réseaux internes non blindés

- non connectés aux services extérieurs (réseaux autonomes) ou
- connectés aux services extérieurs par des interfaces d'isolement, ou
- connectés aux services extérieurs comportant des câbles de protection contre la foudre ou des câblages dans des conduits ou canalisations métalliques de câble de protection contre la foudre, reliés à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté,

il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre un système de protection coordonnée par parafoudres conformément à la CEI 62305-4 pour réduire P_C à condition que la tension induite U_i ne soit pas supérieure à la tension de tenue U_W du réseau interne ($U_i \leq U_W$). Pour l'évaluation de la tension induite U_i , voir la CEI 62305-4:2010, Annexe A.

B.5 Probabilité P_M pour qu'un impact à proximité d'une structure entraîne des défaillances des réseaux internes

Un SPF maillé, des blindages, des précautions de cheminement, une tension de tenue améliorée, des interfaces d'isolement et des systèmes de protection coordonnée par parafoudres sont appropriés comme mesures de protection pour réduire P_M .

La probabilité P_M de défaillances des réseaux internes dues à un impact à proximité d'une structure dépend des mesures de MPF adoptées.

Si une mesure de protection coordonnée par parafoudres conformément aux exigences de la CEI 62305-4 n'est pas prévue, la valeur de P_M est prise égale à P_{MS} .

Si une mesure de protection coordonnée par parafoudres conformément à la CEI 62305-4 est prévue, la valeur de P_M est donnée par:

$$P_M = P_{\text{parafoudre}} \times P_{MS} \quad (\text{B.3})$$

Pour les réseaux internes dont les matériels ne répondent pas aux normes de produits applicables en matière de résistivité ou de niveau de tension de tenue, il convient de supposer que $P_M = 1$.

Les valeurs de P_{MS} sont obtenues à partir du produit:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \quad (\text{B.4})$$

où

K_{S1} prend en compte l'efficacité du blindage de la structure, du SPF ou d'autres écrans à la frontière ZPF 0/1;

K_{S2} prend en compte l'efficacité des écrans internes de la structure à la frontière ZPF X/Y ($X > 0$, $Y > 1$);

K_{S3} prend en compte les caractéristiques du câblage interne (voir Tableau B.5);

K_{S4} prend en compte la tension de tenue aux chocs des réseaux à protéger.

NOTE 1 Lorsque des matériels équipés d'interfaces d'isolement comportant des transformateurs d'isolement avec écran mis à la terre entre les enroulements, ou des câbles à fibre optique ou des optocoupleurs, sont utilisés, il convient de supposer que $P_{MS} = 0$.

Dans une ZPF, à une distance de sécurité du blindage de limite au moins égale à la taille de la maille w_m , les facteurs K_{S1} et K_{S2} pour le SPF ou pour les blindages maillés peuvent être évalués comme suit:

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (\text{B.5})$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (\text{B.6})$$

où w_{m1} (m) et w_{m2} (m) sont les largeurs de maille du blindage spatial maillé ou des conducteurs de descente maillés ou encore de la distance de séparation entre les colonnes métalliques de la structure ou entre les armatures en béton jouant le rôle de SPF naturel.

Pour les écrans métalliques continus d'une épaisseur non inférieure à 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

NOTE 2 Pour un réseau d'équipotentialité maillé conforme à la CEI 62305-4, les valeurs de K_{S1} et de K_{S2} peuvent être réduites de moitié.

Si une boucle d'induction circule à proximité de la frontière d'une ZPF et si les conducteurs blindés sont à une distance plus faible que la distance de sécurité, les valeurs de K_{S1} et K_{S2} seront plus élevées. Par exemple, pour les distances allant de $0,1 w_m$ à $0,2 w_m$, il convient que les valeurs de K_{S1} et K_{S2} soient doublées.

Pour une cascade de ZPF, la valeur finale K_{S2} est le produit des valeurs correspondantes K_{S2} de chaque ZPF.

NOTE 3 La valeur maximale de K_{S1} et de K_{S2} est limitée à 1.

Tableau B.5 – Valeur du facteur K_{S3} en fonction du câblage interne

Type de câblage interne	K_{S3}
Câble non blindé – Pas de précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ^a	1
Câble non blindé – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles de grande taille ^b	0,2
Câble non blindé – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ^c	0,01
Câbles blindés et câbles cheminant dans des conduits métalliques ^d	0,0001
^a Boucles avec différents cheminements dans de grands bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 50 m ²). ^b Boucles dans le même conduit ou boucles avec différents cheminements dans de petits bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 10 m ²). ^c Boucles dans le même câble (surface de boucle de l'ordre de 0,5 m ²). ^d A condition que les blindages et les conduits métalliques soient reliés à une borne d'équipotentialité à ses deux extrémités, et que le matériel soit connecté à la même borne d'équipotentialité.	

Le facteur K_{S4} est évalué comme suit:

$$K_{S4} = 1/U_w \quad (\text{B.7})$$

où

U_w est la tension assignée de tenue aux chocs du réseau à protéger, en kV.

NOTE 4 La valeur maximale de K_{S4} est limitée à 1.

Si dans un réseau interne, des appareils présentent des niveaux différents de tension de tenue aux chocs, il convient de choisir le facteur K_{S4} pour le niveau de tension de tenue aux chocs le plus faible.

B.6 Probabilité P_U pour qu'un impact sur un service entraîne des blessures d'êtres vivants par choc électrique

Les valeurs de probabilité P_U de blessures d'êtres vivants dues à des tensions de contact en raison d'impacts sur un service entrant dans la structure dépendent des caractéristiques des blindages du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service, des mesures de protection typiques (restrictions physiques, notices d'avertissement) et des interfaces d'isolement ou parafoudre(s) prévus pour le réseau d'équipotentialité à l'entrée du service conformément à la CEI 62305-3.

NOTE 1 Des parafoudres coordonnés selon la CEI 62305-4 ne sont pas nécessaires ici pour réduire P_U . Les parafoudres conformes à la CEI 62305-3 sont suffisants.

Les valeurs de P_U sont données par:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.8})$$

où

P_{TU} dépend des mesures de protection contre les tensions de contact, telles que restrictions physiques ou notices d'avertissement. Les valeurs de P_{TU} sont données dans le Tableau B.6.

P_{EB} dépend de la liaison équipotentielle de foudre (EB) conforme à la CEI 62305-3 et du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lequel ses parafoudres sont conçus. Les valeurs de P_{EB} sont données dans le Tableau B.7.

P_{LD} est la probabilité de défaillances des réseaux internes dues à un coup de foudre sur le service connecté dépendant des caractéristiques du service. Les valeurs de P_{LD} sont données dans le Tableau B.8.

C_{LD} est un facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service. Les valeurs de C_{LD} sont données dans le Tableau B.4.

NOTE 2 Lorsqu'un ou des parafoudres conformes à la CEI 62305-3 sont prévus pour la liaison équipotentielle à l'entrée du service, la mise à la terre et l'équipotentialité réalisées conformément à la CEI 62305-4 peuvent améliorer la protection.

Tableau B.6 – Valeurs de la probabilité P_{TU} pour qu'un coup de foudre sur un service entrant entraînera des chocs aux êtres vivants du fait de tensions de contact dangereuses

Mesure de protection	P_{TU}
Pas de mesures de protection	1
Notices d'avertissement	10^{-1}
Isolation électrique	10^{-2}
Restrictions physiques	0

NOTE 3 Si plusieurs dispositions ont été prises, la valeur de P_{TU} est le produit des valeurs correspondantes.

Tableau B.7 – Valeur de la probabilité P_{EB} en fonction du NPF pour lequel les parafoudres sont conçus

NPF	P_{EB}
Pas de parafoudre	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

NOTE 4 Les valeurs de P_{EB} peuvent être réduites pour les parafoudres ayant de meilleures caractéristiques de protection (courant nominal supérieur I_N , niveau de protection inférieur U_p , etc.) concernant les exigences définies pour NPF I aux emplacements d'installation correspondants (voir. CEI 62305-1:2010 Tableau A.3 pour des informations sur les probabilités de courant de foudre et CEI 62305-1:2010 Annexe E et CEI 62305-4:2010 Annexe D pour le partage du courant de foudre). Les mêmes annexes peuvent être utilisées pour des parafoudres ayant des probabilités supérieures P_{EB} .

Tableau B.8 – Valeur de la probabilité P_{LD} en fonction de la résistance R_S du blindage du câble et de la tension de tenue aux chocs U_w du matériel

Type de service	Conditions de cheminement, de blindage et de mise à la terre		Tension de tenue U_w en kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Services de puissance	Service aérien ou enterré, non blindé ou blindé, dont le blindage n'est pas relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté		1	1	1	1	1
ou Services de communication	Aérien ou enterré blindé dont le blindage est relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

NOTE 5 Dans la zone suburbaine/urbaine, le service de puissance BT utilise généralement un câble non blindé enterré tandis que le service de communication utilise un câble blindé enterré (avec un minimum de 20 conducteurs, résistance de blindage $5\Omega/\text{km}$, diamètre du fil de cuivre: 0,6 mm). Dans la zone rurale, le service de puissance BT utilise un câble non blindé aérien tandis que le service de communication utilise un câble non blindé aérien (diamètre du fil de cuivre: 1 mm). Le service de puissance HT enterré utilise généralement un câble blindé de résistance de blindage de l'ordre de $1\Omega/\text{km}$ à $5\Omega/\text{km}$. Les comités nationaux peuvent améliorer ces informations afin de mieux satisfaire aux conditions nationales en matière de services de puissance et de communication.

B.7 Probabilité P_V pour qu'un impact sur un service entraîne des dommages physiques

Les valeurs de probabilité P_V de dommages physiques en raison d'impact sur un service entrant dans la structure dépendent des caractéristiques du blindage, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service et des interfaces d'isolement ou des parafoudres prévus pour le réseau d'équipotentialité à l'entrée du service conformément à la CEI 62305-3.

NOTE Des parafoudres coordonnés selon la CEI 62305-4 ne sont pas nécessaires ici pour réduire P_V . Les parafoudres conformes à la CEI 62305-3 sont suffisants.

La valeur de P_V est donnée par:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.9})$$

où

P_{EB} dépend de la liaison équipotentielle de foudre (EB) conforme à la CEI 62305-3 et du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lequel ses parafoudres sont conçus. Les valeurs de P_{EB} sont données dans le Tableau B.7.

P_{LD} est la probabilité de défaillances des réseaux internes dues à un coup de foudre sur le service connecté dépendant des caractéristiques du service. Les valeurs de P_{LD} sont données dans le Tableau B.8.

C_{LD} est un facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service. Les valeurs de C_{LD} sont données dans le Tableau B.4.

B.8 Probabilité P_W pour qu'un impact sur un service entraîne des défaillances des réseaux internes

Les valeurs de probabilité P_W de défaillances des réseaux internes en raison d'impact sur un service entrant dans la structure dépendent des caractéristiques des écrans du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux internes connectés au service et des interfaces d'isolement ou des parafoudres coordonnés installés.

La valeur de P_W est donnée par:

$$P_W = P_{\text{parafoudre}} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.10})$$

où

$P_{\text{parafoudre}}$ dépend du système de protection coordonnée par parafoudres conforme à la CEI 62305-4 et du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lequel ses parafoudres sont conçus. Les valeurs de $P_{\text{parafoudre}}$ sont données dans le Tableau B.3.

P_{LD} est la probabilité de défaillances des réseaux internes dues à un coup de foudre sur le service connecté dépendant des caractéristiques du service. Les valeurs de P_{LD} sont données dans le Tableau B.8.

C_{LD} est un facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service. Les valeurs de C_{LD} sont données dans le Tableau B.4.

B.9 Probabilité P_Z pour qu'un impact à proximité d'un service entrant entraîne des défaillances des réseaux internes

Les valeurs de probabilité P_Z de défaillances des réseaux internes en raison d'impact à proximité d'un service entrant dans la structure dépendent des caractéristiques des blindages du service, de la tension de tenue aux chocs des réseaux connectés au service et des interfaces d'isolement ou des parafoudres coordonnés installés.

La valeur de P_Z est donnée par:

$$P_Z = P_{\text{parafoudre}} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (\text{B.11})$$

où

$P_{\text{parafoudre}}$ dépend du système de protection coordonnée par parafoudres conforme à la CEI 62305-4 et du niveau de protection contre la foudre (NPF) pour lequel ses parafoudres sont conçus. Les valeurs de $P_{\text{parafoudre}}$ sont données dans le Tableau B.3.

P_{LI} est la probabilité de défaillances des réseaux internes dues à un coup de foudre à proximité du service connecté dépendant des caractéristiques du service. Les valeurs de P_{LI} sont données dans le Tableau B.9.

C_{LI} est un facteur associé aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation du service. Les valeurs de C_{LI} sont données dans le Tableau B.4.

Tableau B.9 – Valeurs de la probabilité P_{LI} en fonction du type de service et de la tension de tenue aux chocs U_w du matériel

Type de service	Tension de tenue U_w en kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Services de puissance	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Services de communication	1	0,5	0,2	0,08	0,04

NOTE Des valeurs plus précises de P_{LI} peuvent être obtenues dans la CEI TR 62066:2002 pour les services de puissance^[10] et dans la Recommandation UIT-T K.46^[11] pour les services de communication.

Annexe C (informative)

Evaluation du montant des pertes L_X

C.1 Généralités

Il convient que les valeurs des pertes L_X soient estimées et fixées par le concepteur de la protection contre la foudre (ou par le propriétaire de la structure). Les valeurs moyennes types des pertes L_X dans une structure données dans la présente annexe sont les valeurs proposées par la CEI. D'autres valeurs peuvent être données par chaque comité national ou après étude détaillée.

NOTE 1 Lorsque les dommages sur une structure dus à la foudre peuvent également impliquer des structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives), il convient de réaliser une évaluation plus détaillée de L_X tenant compte de cette perte complémentaire.

NOTE 2 Il est recommandé d'appliquer les formules de la présente annexe comme source primaire des valeurs de L_X .

C.2 Montant relatif moyen des pertes par événement dangereux

Les pertes L_X se réfèrent au montant relatif moyen d'un type particulier de dommage pour un événement dangereux, de son étendue et des effets consécutifs pouvant être dus à un impact de foudre.

Les pertes L_X varient selon le type de perte considérée:

- L1 (Perte de vie humaine, y compris les blessures permanentes): le nombre de personnes en danger (victimes);
- L2 (Perte de service public): le nombre d'utilisateurs non desservis;
- L3 (Perte d'héritage culturel): la valeur économique en danger de la structure et son contenu;
- L4 (Perte de valeurs économiques): la valeur économique en danger des animaux, de la structure (y compris ses activités), de son contenu et des réseaux internes;

et, pour chaque type de perte, selon le type de dommage (D1, D2 et D3) à l'origine.

Il convient de déterminer la perte L_X pour chaque zone divisant la structure.

C.3 Perte de vie humaine (L1)

Les valeurs des pertes L_X pour chaque zone peuvent être déterminées selon le Tableau C.1 en tenant compte des éléments suivants:

- la perte de vie humaine est affectée par les caractéristiques de la zone. Elles sont prises en compte par les facteurs croissants (h_z) et décroissants (r_t , r_p , r_f);
- la valeur maximale de la perte dans la zone doit être réduite par le rapport entre le nombre de personnes dans la zone (n_z) et le nombre total de personnes (n_t) dans toute la structure;
- la durée annuelle, en heures, de présence des personnes dans la zone (t_z), si elle est inférieure aux 8 760 h annuelles totales, elle réduit également la perte.

Tableau C.1 – Type de perte L1: Valeurs des pertes pour chaque zone

Type de dommage	Perte typique	Formule
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8\ 760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8\ 760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8\ 760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \times t_z/8\ 760$	(C.4)

où

L_T est le nombre relatif moyen type de victimes blessées par choc électrique (D1) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.2);

L_F est le nombre relatif moyen type de victimes par dommage physique (D2) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.2);

L_O est le nombre relatif moyen type de victimes par défaillance des réseaux internes (D3) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.2);

r_t est un facteur de réduction des pertes en vies humaines en fonction du type de sol ou de plancher (voir Tableau C.3);

r_p est un facteur de réduction des pertes dues aux dommages physiques en fonction des dispositions prises pour réduire les conséquences du feu (voir Tableau C.4);

r_f est un facteur de réduction des pertes dues aux dommages physiques en fonction du risque de feu ou d'explosion de la structure (voir Tableau C.5);

h_z est un facteur d'augmentation des pertes dues aux dommages physiques en présence d'un danger spécifique (voir Tableau C.6);

n_z est le nombre de personnes dans la zone;

n_t est le nombre total de personnes dans la structure;

t_z est la durée annuelle en heures de présence des personnes dans la zone.

Tableau C.2 – Type de perte L1: Valeurs moyennes types de L_T , L_F et L_O

Type de dommage	Valeur de perte typique		Type de structure
D1 blessures	L_T	10^{-2}	Tout type
D2 dommages physiques	L_F	10^{-1}	Risque d'explosion
		10^{-1}	Hôpital, hôtel, école, bâtiment civil
		5×10^{-2}	Publique de loisir, église, musée
		2×10^{-2}	Industrielle, commerciale
		10^{-2}	Autres
D3 défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-1}	Risque d'explosion
		10^{-2}	Unité de soins intensifs et bloc opératoire d'hôpital
		10^{-3}	Autres parties d'hôpitaux

NOTE 1 Les valeurs du Tableau C.2 font référence à la présence continue de personnes dans la structure.

NOTE 2 Dans le cas d'une structure avec risque d'explosion, les valeurs de L_F et L_O peuvent nécessiter de réaliser une évaluation plus détaillée, tenant compte du type de structure, du risque d'explosion, du concept de zones dangereuses et des mesures prises pour réduire le risque.

Lorsque des dommages sur une structure dus à la foudre impliquent des structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives), il convient de tenir compte de la perte complémentaire (L_E) pour évaluer la perte totale (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.5)$$

où

$$L_E = L_{FE} \times t_e / 8\,760 \quad (C.6)$$

L_{FE} la perte due aux dommages physiques à l'extérieur de la structure;

t_e la durée de présence des personnes à un emplacement dangereux à l'extérieur de la structure.

NOTE 3 Si les valeurs de L_{FE} et t_e sont inconnues, il convient de supposer que $L_{FE} \times t_e / 8\,760 = 1$.

Tableau C.3 – Facteur de réduction r_t en fonction du type de surface du sol ou du plancher

Type de surface ^b	Résistance de contact kΩ ^a	r_t
Agricole, béton	≤ 1	10 ⁻²
Marbre, céramique	1 – 10	10 ⁻³
Gravier, moquette, tapis	10 – 100	10 ⁻⁴
Asphalte, linoléum, bois	≥ 100	10 ⁻⁵
^a Valeurs mesurées entre une électrode de 400 cm ² comprimée avec une force uniforme de 500 N à un point à l'infini.		
^b Une couche de matériaux isolants, par exemple de l'asphalte, de 5 cm d'épaisseur (ou une couche de gravier de 15 cm d'épaisseur) réduit généralement le danger à un niveau tolérable.		

Tableau C.4 – Facteur de réduction r_p en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu

Dispositions	r_p
Pas de disposition	1
Une des dispositions suivantes: extincteurs, installations d'extinction fixes déclenchées manuellement, installations manuelles d'alarme, prises d'eau, compartiments étanches, voies d'évacuation protégées	0,5
Une des dispositions suivantes: installations d'extinction fixes déclenchées automatiquement, installations d'alarme automatiques ^a	0,2
^a Seulement si elles sont protégées contre les surtensions ou d'autres dommages et si le temps d'intervention des pompiers est inférieur à 10 min.	

Si plusieurs dispositions ont été prises, il convient que la valeur de r_p soit la plus faible des valeurs individuelles.

Dans les structures présentant un risque d'explosion, $r_p = 1$ dans tous les cas.

Tableau C.5 – Facteur de réduction r_f en fonction du risque d'incendie ou d'explosion de la structure

Risque	Niveau de risque	r_f
Explosion	Zones 0, 20 et explosif massif	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Incendie	Elevé	10^{-1}
	Ordinaire	10^{-2}
	Faible	10^{-3}
Explosion ou incendie	Aucun	0

NOTE 4 Dans le cas d'une structure présentant un risque d'explosion, une évaluation plus détaillée de r_f peut être nécessaire.

NOTE 5 On peut estimer que les structures présentant un risque de feu élevé sont les structures en matériaux combustibles ou les structures dont le toit est en matériaux combustibles ou les structures avec une charge calorifique spécifique supérieure à 800 MJ/m².

NOTE 6 On peut estimer que les structures présentant un risque ordinaire de feu sont les structures qui ont une charge calorifique spécifique comprise entre 800 MJ/m² et 400 MJ/m².

NOTE 7 On peut estimer que les structures qui présentent un faible risque de feu sont les structures qui ont une charge calorifique spécifique inférieure à 400 MJ/m² ou les structures qui ne contiennent qu'occasionnellement des matériaux combustibles.

NOTE 8 La charge calorifique spécifique est le rapport de l'énergie de la part totale de matériau combustible dans une structure sur la surface complète de la structure.

NOTE 9 Pour les besoins de la présente partie de la CEI 62305, il convient que les structures comportant des zones dangereuses ou contenant des matériaux explosifs massifs ne soient pas considérées comme des structures avec risque d'explosion si l'une des conditions suivantes est satisfaite:

- a) la durée de présence des substances explosives est inférieure à 0,1 h/an;
- b) le volume d'atmosphère explosive est négligeable conformément à la CEI 60079-10-1 ^[2] et à la CEI 60079-10-2 ^[3];
- c) la zone ne peut être frappée directement par un éclair et les étincelles dangereuses dans la zone sont évitées.

NOTE 10 Pour les zones dangereuses protégées par des abris métalliques, la condition c) est satisfaite lorsque l'abri formé par un dispositif de capture naturel agit en toute sécurité sans problème de perforation ou de point chaud, et les réseaux internes à l'intérieur de l'abri, le cas échéant, sont protégés contre les surtensions afin d'éviter des étincelles dangereuses.

Tableau C.6 – Facteur h_z augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier

Type de danger particulier	h_z
Pas de danger particulier	1
Faible niveau de panique (par exemple, structure limitée à deux étages et nombre de personnes inférieur à 100)	2
Niveau de panique moyen (par exemple, structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes compris entre 100 et 1 000)	5
Difficulté d'évacuation (par exemple, structures avec personnes immobilisées, hôpitaux)	5
Niveau de panique élevé (par exemple, structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes supérieur à 1 000)	10

C.4 Pertes inacceptables de service public (L2)

Les valeurs des pertes L_X pour chaque zone d'une structure peuvent être déterminées selon le Tableau C.7 en tenant compte des éléments suivants:

- la perte de service public est affectée par les caractéristiques de la zone de la structure. Elles sont prises en compte par les facteurs décroissants (r_f , r_p);
- la valeur maximale de la perte due aux dommages dans la zone doit être réduite par le rapport entre le nombre d'utilisateurs desservis par la zone (n_z) et le nombre total d'utilisateurs (n_t) desservis par toute la structure.

Tableau C.7 – Type de perte L2: Valeurs des pertes pour chaque zone

Type de dommage	Perte typique	Formule
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z / n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t$	(C.8)

où

L_F est le nombre relatif moyen type d'utilisateurs non desservis par dommage physique (D2) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.8);

L_O est le nombre relatif moyen type d'utilisateurs non desservis par défaillance des réseaux internes (D3) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.8);

r_p est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant des dispositions prises pour réduire les conséquences de l'incendie (voir Tableau C.4);

r_f est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant du risque d'incendie (voir Tableau C.5);

n_z est le nombre d'utilisateurs desservis par la zone;

n_t est le nombre total d'utilisateurs desservis par la structure.

Tableau C.8 – Type de perte L2: Valeurs moyennes types de L_F et L_O

Type de dommage	Valeur de perte typique	Type de service
D2 dommages physiques	L_F	10 ⁻¹ Alimentation en gaz, eau et électricité
		10 ⁻² TV, lignes de télécommunication
D3 défaillances de réseaux internes	L_O	10 ⁻² Alimentation en gaz, eau et électricité
		10 ⁻³ TV, lignes de télécommunication

C.5 Perte d'héritage culturel irremplaçable (L3)

Les valeurs des pertes L_X pour chaque zone peuvent être déterminées selon le Tableau C.9 en tenant compte des éléments suivants:

- la perte d'héritage culturel est affectée par les caractéristiques de la zone. Elles sont prises en compte par les facteurs décroissants (r_f , r_p);
- la valeur maximale de la perte due aux dommages de la zone doit être réduite par le rapport entre le coût de la zone (c_z) et le coût total (c_t) de toute la structure (bâtiment et contenu).

Tableau C.9 – Type de perte L3: Valeurs des pertes pour chaque zone

Type de dommage	Valeur de perte typique	Formule
D2 dommages physiques	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

où

L_F est la valeur relative moyenne type de tous les biens endommagés par dommage physique (D2) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.10);

r_p est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant des dispositions prises pour réduire les conséquences de l'incendie (voir Tableau C.4);

r_f est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant du risque d'incendie (voir Tableau C.5);

c_z est le coût de l'héritage culturel dans la zone;

c_t est le coût total du bâtiment et du contenu de la structure (somme de toutes les zones).

Tableau C.10 – Type de perte L3: Valeurs moyennes types de L_F

Type de dommage	Valeur de perte typique		Type de structure ou zone
D2 dommages physiques	L_F	10^{-1}	Musées, galeries d'art

C.6 Pertes économiques (L4)

Les valeurs des pertes L_X pour chaque zone de la structure peuvent être déterminées selon le Tableau C.11 en tenant compte des éléments suivants:

- la perte de valeurs économiques est affectée par les caractéristiques de la zone. Elles sont prises en compte par les facteurs décroissants (r_t , r_p , r_f);
- la valeur maximale de la perte due aux dommages de la zone doit être réduite par le rapport entre la valeur correspondante dans la zone et le coût total (c_t) de toute la structure (animaux, bâtiment, contenu et réseaux internes, y compris leurs activités). La valeur correspondante de la zone dépend du type de dommage:

D1 (blessures d'animaux dues au choc électrique): c_a (coût des animaux uniquement)

D2 (dommages physiques) $c_a + c_b + c_c + c_s$ (coût de tous les biens)

D3 (défaillances de réseaux internes): c_s (coût des réseaux internes et de leurs activités uniquement)

Tableau C.11 – Type de perte L4: Valeurs des pertes pour chaque zone

Type de dommage	Perte typique ^a	Formule
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)

^a Les rapports entre c_a / c_t et $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ et c_s / c_t ne doivent être considérés dans les équations (C.10) – (C.13) que si l'analyse de risque est conduite selon 6.10, en utilisant l'Annexe D. Dans le cas où une valeur représentative du risque R4 est employée selon le Tableau 4, les rapports ne doivent pas être pris en compte. Dans ce cas, les rapports doivent être remplacés par la valeur 1.

où

L_T est la valeur relative moyenne type de tous les biens endommagés par choc électrique (D1) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.12);

L_F est la valeur relative moyenne type de tous les biens endommagés par dommage physique (D2) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.12);

L_O est la valeur relative moyenne type de tous les biens endommagés par défaillance des réseaux internes (D3) du fait d'un événement dangereux (voir Tableau C.12);

r_t est un facteur de réduction de la perte d'animaux dépendant du type de sol ou de plancher (voir Tableau C.3);

- r_p est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant des dispositions prises pour réduire les conséquences de l'incendie (voir Tableau C.4);
- r_f est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant du risque d'incendie ou du risque d'explosion de la structure (voir Tableau C.5);
- c_a est le coût des animaux dans la zone;
- c_b est le coût du bâtiment associé dans la zone;
- c_c est le coût du contenu de la zone;
- c_s est le coût des réseaux internes, y compris leurs activités dans la zone;
- c_t est le coût total de la structure (somme de toutes les zones pour les animaux, le bâtiment, le contenu et les réseaux internes, y compris leurs activités).

Tableau C.12 – Type de perte L4: Valeurs moyennes types de L_T , L_F et L_O

Type de dommage	Valeur de perte typique		Type de structure
D1 blessures dues au choc électrique	L_T	10^{-2}	Tous les types où seuls des animaux sont présents
D2 dommages physiques	L_F	1	Risque d'explosion
		0,5	Hôpitaux, industrielle, musées, agricole
		0,2	Hôtel, école, bureaux, église, loisirs, commerciale
		10^{-1}	Autres
D3 défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-1}	Risque d'explosion
		10^{-2}	Hôpitaux, industries, bureaux, hôtels, commerciale
		10^{-3}	Musées, agricoles, écoles, églises, loisirs
		10^{-4}	Autres

NOTE 1 Dans le cas d'une structure avec risque d'explosion, les valeurs de L_F et L_O peuvent nécessiter de réaliser une évaluation plus détaillée, tenant compte du type de structure, du risque d'explosion, du concept de zones dangereuses et des mesures prises pour réduire le risque.

Lorsque des dommages sur une structure dus à la foudre impliquent des structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives), il convient de tenir compte de la perte complémentaire (L_E) pour évaluer la perte totale (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.14)$$

où

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad C.15)$$

L_{FE} est la perte due aux dommages physiques à l'extérieur de la structure;

c_e est le coût total des biens à un emplacement dangereux à l'extérieur de la structure.

NOTE 2 Si la valeur de L_{FE} est inconnue, il convient de supposer que $L_{FE} = 1$.

Annexe D (informative)

Evaluation des coûts des pertes

Le coût des pertes C_{LZ} dans une zone peut être calculé par la formule suivante:

$$C_{LZ} = R_{4Z} \times c_t \quad (D.1)$$

où

R_{4Z} est le risque associé aux pertes de valeurs dans la zone, sans mesures de protection;

c_t est le coût total de la structure (animaux, bâtiment, contenu et réseaux internes, y compris leurs activités en monnaie).

Le coût des pertes totales C_L dans la structure peut être calculé par la formule suivante:

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad (D.2)$$

où

$R_4 = \sum R_{4Z}$ est le risque associé aux pertes de valeur, sans mesures de protection.

Le coût C_{RLZ} des pertes résiduelles dans une zone malgré les mesures de protection peut être calculé par la formule:

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \times c_t \quad (D.3)$$

où

R'_{4Z} est le risque associé aux pertes de valeurs dans la zone, avec mesures de protection.

Le coût total C_{RL} des pertes résiduelles dans la structure malgré les mesures de protection peut être calculé par la formule:

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R'_4 \times c_t \quad (D.4)$$

où

$R'_4 = \sum R'_{4Z}$ est le risque associé aux pertes de valeurs dans la structure, avec mesures de protection.

Le coût annuel C_{PM} des mesures de protection peut être calculé par la formule:

$$C_{PM} = C_P \times (i + a + m) \quad (D.5)$$

où

C_P est le coût des mesures de protection;

i est le taux d'intérêt;

a est le taux d'amortissement;

m est le coût de maintenance.

L'économie annuelle S_M en monnaie est:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (D.6)$$

La protection est appropriée si l'économie annuelle $S_M > 0$.

Annexe E (informative)

Etude de cas de structures

E.1 Généralités

Dans cette Annexe E, des cas relatifs à une maison d'habitation, un bâtiment de bureaux, un hôpital et un appartement sont traités dans le but de montrer:

- la façon de calculer le risque et de s'assurer de la nécessité d'une protection;
- la contribution des différentes composantes de risque au risque total;
- les effets des différentes mesures de protection pour diminuer un tel risque;
- la manière de choisir parmi différentes solutions de protection en tenant compte des impacts économiques.

NOTE Cette annexe présente des hypothèses pour tous les cas. Elle est destinée à donner des informations sur l'évaluation des risques afin d'illustrer les principes de la présente partie de la CEI 62305. Elle n'est pas destinée à traiter de toutes les conditions existantes dans divers bâtiments et réseaux.

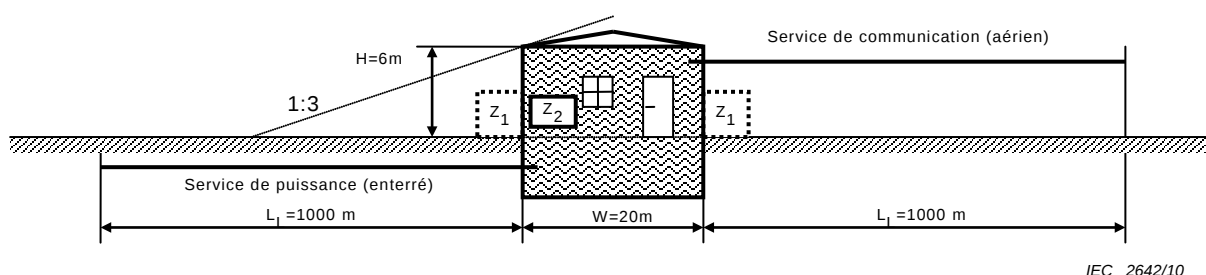
E.2 Maison rurale

La première étude de cas concerne une maison rurale (Figure E.1).

La perte de vie humaine (L_1) et la perte économique (L_4) sont applicables à ce type de structure.

Il est nécessaire d'évaluer le besoin de protection. Ceci implique de ne déterminer que le risque R_1 pour la perte de vie humaine (L_1) avec les composantes de risque R_A , R_B , R_U et R_V (selon le Tableau 2) et de le comparer au risque tolérable $R_T = 10^{-5}$ (selon le Tableau 4). D'autres mesures de protection adaptées pour diminuer ce risque sont choisies.

Selon la décision prise par le propriétaire, une évaluation économique n'est pas nécessaire; par conséquent le risque R_4 pour la perte économique (L_4) n'est pas pris en compte.



Légende

Z_1 : l'extérieur

Z_2 : bloc chambres

Figure E.1 – Maison rurale

E.2.1 Données et caractéristiques concernées

La maison rurale est située dans une région plate sans structures environnantes. La densité de foudroiement est $N_G = 4$ impacts au km^2 par an. Cinq personnes vivent dans la maison. Il

s'agit également du nombre total de personnes à prendre en compte, car à l'extérieur de la maison aucune personne n'est supposée présente pendant un orage.

Les données de la maison et de son environnement sont données dans le Tableau E.1.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.2 et pour le service de communication dans le Tableau E.3.

Tableau E.1 – Maison rurale: Caractéristiques de l'environnement et de la structure

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Densité de foudroiement (1/km ² /an)		N_G	4,0	
Dimensions de la structure (m)		L, W, H	15,20, 6	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	C_D	1	Tableau A.1
SPF	Aucun	P_B	1	Tableau B.2
Liaison équipotentielle	Aucun	P_{EB}	1	Tableau B.7
Écran spatial extérieur	Aucun	K_{S1}	1	Formule (B.5)

Tableau E.2 – Maison rurale: Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m) ^a		L_L	1 000	
Facteur d'installation	Enterré	C_i	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service BT	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Rural	C_E	1	Tableau A.4
Écran de service	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	
Structure adjacente	Aucun	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

^a Correspondant à la longueur L_L de la section de service inconnue, on suppose que $L_L = 1\,000\text{ m}$ (Article A.4 et Article A.5)

Tableau E.3 – Maison rurale: Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m) ^a		L_L	1 000 m	
Facteur d'installation	Aérien	C_i	1	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service de communication	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Rural	C_E	1	Tableau A.4
Écran de service	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Structure adjacente	Aucun	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	C_{DJ}	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9
^a Correspondant à la longueur L_L de la section de service inconnue, on suppose que $L_L = 1\ 000$ m (Article A.4 et Article A.5).				

E.2.2 Définition des zones dans la maison rurale

Les zones principales suivantes peuvent être définies:

- Z_1 (à l'extérieur du bâtiment);
- Z_2 (à l'intérieur du bâtiment).

Pour la zone Z_1 il est supposé que personne ne se tient à l'extérieur du bâtiment. Par conséquent, le risque d'impact sur les personnes $R_A = 0$. Du fait que R_A constitue la seule composante de risque à l'extérieur du bâtiment, la zone Z_1 peut être totalement omise.

À l'intérieur du bâtiment, seule une zone Z_2 est définie, en tenant compte des éléments suivants:

- les deux réseaux internes (de puissance et de communication) couvrent tout le bâtiment;
- il n'y a pas de blindages spatiaux;
- la structure constitue un compartiment unique à l'épreuve du feu;
- les pertes sont supposées être constantes dans tout le bâtiment et correspondre aux valeurs moyennes types du Tableau C.1.

Les facteurs résultants valables pour la zone Z_2 sont indiqués dans le Tableau E.4.

Tableau E.4 – Maison rurale: Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucun	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucun	P_{TU}	1	Tableau B.6
Risque d'incendie		Faible	r_f	10^{-3}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communi- cation	Câblage interne	Non blindé (boucles de grande taille >10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: aucun	h_z	1	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
	D2: due aux dommages physiques	L_F	10^{-1}	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 5/5 \times 8\,760/8\,760$	–	1	
	Paramètres résultants	L_A	10^{-7}	Formule (C.1)
		L_U	10^{-7}	Formule (C.2)
		L_B	10^{-4}	Formule (C.3)
		L_V	10^{-4}	Formule (C.3)

E.2.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs des surfaces équivalentes d'exposition sont présentés au Tableau E.5 et les nombres prévisibles d'événements dangereux sont donnés au Tableau E.6.

Tableau E.5 – Maison rurale: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence Formule	Formule
Structure	A_D	$2,58 \times 10^3$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Non applicable
Service de puissance	$A_{L/P}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/T} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente

Tableau E.6 – Maison rurale: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence Formule	Formule
Structure	N_D	$1,03 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Non applicable
Service de puissance	$N_{L/P}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8,00	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$1,60 \times 10^{-1}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente

E.2.4 Risque R_1 – Décision relative au besoin de protection

Le risque R_1 peut être exprimé selon la Formule (1) par la somme suivante des composantes:

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U/P} + R_{V/P} + R_{U/T} + R_{V/T}$$

Les composantes de risque doivent être évaluées conformément au Tableau 6.

Les composantes impliquées et l'évaluation du risque total sont données au Tableau E.7.

Tableau E.7 – Maison rurale: Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)

	Symbole	Z_1	Z_2	Structure
D1 Blessure	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,002	0,002
D2 Dommages physiques	R_B		0,103	0,103
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolérable		$R_1 > R_T$: Besoin de protection contre la foudre		$R_T = 1$

Du fait que $R_1 = 2,51 \times 10^{-5}$ est supérieur à la valeur tolérable $R_T = 10^{-5}$, une protection contre la foudre de la structure est exigée.

E.2.5 Risque R_1 – Choix des mesures de protection

D'après le Tableau E.7, les principales contributions à la valeur de risque sont données par:

- composante R_V (coup de foudre sur les services) pour 96 %;
- composante R_B (coup de foudre sur la structure) pour 4 %.

Pour réduire le risque R_1 à une valeur tolérable, il convient de tenir compte des mesures de protection influençant les composantes R_V et R_B . Les mesures appropriées sont les suivantes:

- installation de parafoudres de niveau de protection IV au point d'entrée (liaison équipotentielle de foudre) pour protéger le bâtiment du service de puissance et du service téléphonique qui, d'après le Tableau B.7 réduit les valeurs de P_{EB} (en raison du parafoudre sur les services connectés) de 1 à 0,05 et les valeurs de P_U et P_V par le même facteur;
- installation d'un SPF de type IV (obligatoire, y compris la liaison équipotentielle de foudre) qui, d'après les Tableaux B.2 et B.7 réduit la valeur de P_B de 1 à 0,2 et la valeur de P_{EB} (en raison de la présence du parafoudre sur les services connectés) de 1 à 0,05 et les valeurs de P_U et P_V par le même facteur.

En utilisant de manière adéquate ces valeurs dans les formules, on obtient de nouvelles valeurs de composantes de risque comme indiqué au Tableau E.8.

Tableau E.8 – Maison rurale: Valeurs des composantes de risque relatives au risque R_1 pour la structure protégée

Type de dommage	Symbole	Résultat du cas a) $\times (10^{-5})$	Résultat du cas b) $\times (10^{-5})$
D1 blessure due au choc	R_A	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	≈ 0	≈ 0
D2 dommages physiques	R_B	0,103	0,021
	R_V	0,120	0,120
Total	R_1	0,223	0,141

La solution à adopter dépend du meilleur compromis entre les aspects techniques et économiques.

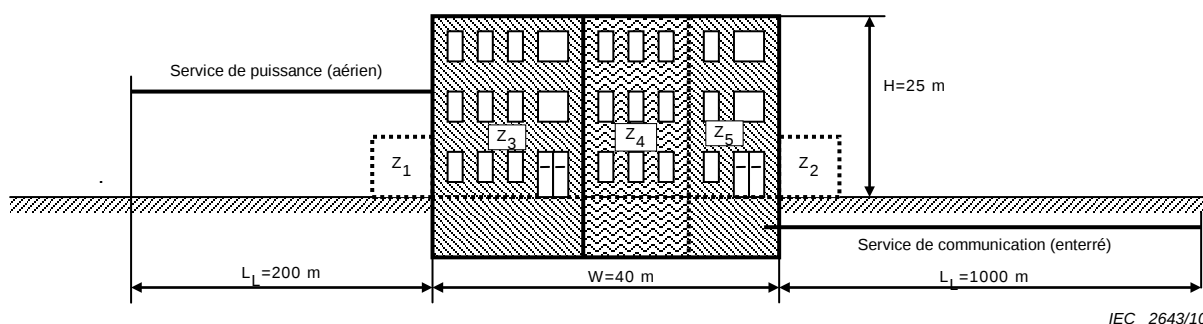
E.3 Bâtiment de bureaux

La deuxième étude de cas concerne un immeuble de bureaux comportant des archives, des bureaux et un centre informatique (Figure E.2).

La perte de vie humaine (L1) et la perte économique (L4) sont applicables à ce type de structure.

Il est nécessaire d'évaluer le besoin de protection. Ceci implique de ne déterminer que le risque R_1 pour la perte de vie humaine (L1) avec les composantes de risque R_A , R_B , R_U et R_V (selon le Tableau 2) et de le comparer au risque tolérable $R_T = 10^{-5}$ (selon le Tableau 4). Les mesures de protection appropriées pour diminuer ce risque sont choisies égales ou inférieures au risque tolérable.

Selon la décision prise par le propriétaire, une évaluation économique n'est pas nécessaire; par conséquent le risque R_4 pour la perte économique (L4) n'est pas pris en compte.



Légende

Z₁: l'entrée (à l'extérieur)

Z₂: jardin (à l'intérieur)

Z₃: archives

Z₄: bureaux

Z₅: centre informatique

Figure E.2 – Bâtiment de bureaux

E.3.1 Données et caractéristiques concernées

Le bâtiment de bureaux est situé dans une région plate sans structures environnantes. La densité de foudroiement est $N_G = 4$ impacts au km² par an.

Les données relatives au bâtiment et à son environnement sont données dans le Tableau E.9.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.10 et pour le service de communication dans le Tableau E.11.

Tableau E.9 – Bâtiment de bureaux: Caractéristiques de l'environnement et de la structure

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Densité de foudroiement (1/km ² /an)		N_G	4,0	
Dimensions de la structure (m)		L, W, H	20, 40, 25	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	C_D	1	Tableau A.1
SPF	Aucun	P_B	1	Tableau B.2
Liaison équipotentielle	Aucun	P_{EB}	1	Tableau B.7
Écran spatial extérieur	Aucun	K_{S1}	1	Formule (B.5)

Tableau E.10 – Bâtiment de bureaux: Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	200	
Facteur d'installation	Aérien	C_i	1	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service BT	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Rural	C_E	1	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	
Structure adjacente	Aucun	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.11 – Bâtiment de bureaux: Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	1000	
Facteur d'installation	Enterré	C_i	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service de communication	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Rural	C_E	1	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	
Structure adjacente	Aucun	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.3.2 Définition des zones dans le bâtiment de bureaux

Les zones suivantes sont définies:

- Z_1 (zone d'entrée à l'extérieur);
- Z_2 (jardin);
- Z_3 (archives);
- Z_4 (bureaux);
- Z_5 (centre informatique);

en tenant compte des éléments suivants:

- le type de surface est différent dans la zone d'entrée extérieure, dans le jardin et à l'intérieur de la structure;
- la structure est divisée en deux compartiments isolés à l'épreuve du feu: l'un pour les archives (Z_3) et l'autre pour les bureaux et le centre informatique (Z_4 et Z_5);
- dans toutes les zones intérieures Z_3 , Z_4 et Z_5 , des réseaux internes sont connectés aux services de puissance et de communication;
- il n'y a pas de blindages spatiaux.

Dans les différentes zones à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment de bureaux, un nombre total de 200 personnes doit être pris en compte.

Le nombre de personnes associé à chaque zone est différent. La distribution dans les zones individuelles est indiquée dans le Tableau E.12. Ces valeurs sont ensuite utilisées pour subdiviser les valeurs des pertes totales en fractions pour chaque zone.

Tableau E.12 – Bâtiment de bureaux: Distribution des personnes dans les zones

Zone	Nombre de personnes	Durée de présence
Z_1 (entrée à l'extérieur)	4	8 760
Z_2 (jardin à l'extérieur)	2	8 760
Z_3 (archives)	20	8 760
Z_4 (bureaux)	160	8 760
Z_5 (centre informatique)	14	8 760
Total	$n_t = 200$	–

Selon l'estimation des mesures de protection par le concepteur, les valeurs moyennes types de pertes relatives annuelles sont pour le risque R_1 (voir le Tableau C.1) pour l'ensemble de la structure:

- $L_T = 10^{-2}$ (à l'extérieur de la structure);
- $L_T = 10^{-2}$ (à l'intérieur de la structure);
- $L_F = 0,02$ classé comme "bâtiment commercial".

Ces valeurs globales sont réduites pour chaque zone en tenant compte du nombre de personnes potentiellement en danger dans la zone individuelle par rapport au nombre total de personnes considérées.

Les caractéristiques résultantes des zones Z_1 à Z_5 sont données dans les Tableaux E.13 à E.17.

**Tableau E.13 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_1
(zone d'entrée à l'extérieur)**

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de sol	Marbre	r_t	10^{-3}	Tableau C.3
Protection contre les chocs	Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_f	0	Tableau C.5
Protection contre l'incendie	Aucun	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
L1: Perte de vie humaine	Danger particulier: aucun	h_z	1	Tableau C.6
	D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
	D2: due aux dommages physiques	L_F	–	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 4/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,02	

Tableau E.14 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_2 (jardin)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de sol	Herbe	r_t	10^{-2}	Tableau C.3
Protection contre les chocs	Clôture	P_{TA}	0	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_f	0	Tableau C.5
Protection contre l'incendie	Aucun	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
L1: Perte de vie humaine	Danger particulier: aucun	h_z	1	Tableau C.6
	D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
	D2: due aux dommages physiques	L_F	–	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 2/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,01	

Tableau E.15 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_3 (archives)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.6
Risque d'incendie		Elevé	r_f	10^{-1}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communi- cation	Câblage interne	Non blindé (boucles de grande taille >10 m²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
L1: Perte de vie humaine	Danger particulier: faible panique	h_z	2	Tableau C.6
	D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
	D2: due aux dommages physiques	L_F	0,02	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 20/200 \cdot 8\ 760/8\ 760$	–	0,10	

Tableau E.16 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_4 (bureaux)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.6
Risque d'incendie		Faible	r_f	10^{-3}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communi- cation	Câblage interne	Non blindé (boucles de grande taille >10 m²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: faible panique	h_z	2	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
		D2: due aux dommages physiques	L_F	0,02	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 160/200 \cdot 8\ 760/8\ 760$	–	0,80	

Tableau E.17 – Bâtiment de bureaux: Facteurs valables pour la zone Z_5 (centre informatique)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.6
Risque d'incendie		Faible	r_f	10^{-3}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communi- cation	Câblage interne	Non blindé (boucles de grande taille $>10\text{ m}^2$)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: faible panique	h_z	2	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
		D2: due aux dommages physiques	L_F	0,02	

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	–	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 14/200 \times 8\,760/8\,760$	–	0,07	

E.3.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs des surfaces équivalentes d'exposition sont présentés au Tableau E.18, les calculs des nombres prévisibles d'événements dangereux sont donnés au Tableau E.19.

Tableau E.18 – Bâtiment de bureaux: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence Formule	Formule
Structure	A_D	$2,75 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Non applicable
Service de puissance	$A_{L/P}$	$8,00 \times 10^3$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$8,00 \times 10^5$	(A.11)	Non applicable
	$A_{DA/P}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	Non applicable
	$A_{DA/T}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente

Tableau E.19 – Bâtiment de bureaux: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence Formule	Formule
Structure	N_D	$1,11 \times 10^{-1}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Non applicable
Service de puissance	$N_{L/P}$	$3,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	3,20	(A.10)	Non applicable
	$N_{DA/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	8,00	(A.10)	Non applicable
	$N_{DA/T}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente

E.3.4 Risque R_1 – Décision relative au besoin de protection

Les valeurs des composantes de risque pour la structure non protégée sont indiquées dans le Tableau E.20.

Tableau E.20 – Bâtiment de bureaux: Risque R_1 pour la structure non protégée
(valeurs $\times 10^{-5}$)

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Structure
D1 Blessure	R_A	0,002	0	≈ 0	0,001	≈ 0	0,003
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$			≈ 0	0,001	≈ 0	0,001
D2 Dommages physiques	R_B			4,395	0,352	0,031	4,778
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$			4,480	0,358	0,031	4,870
Total		0,002	0	8,876	0,712	0,062	$R_1 = 9,65$
Tolérable		$R_1 > R_T$: Besoin de protection contre la foudre					$R_T = 1$

Du fait que $R_1 = 9,65 \times 10^{-5}$ est supérieur à la valeur tolérable $R_T = 10^{-5}$, une protection contre la foudre de la structure est exigée.

E.3.5 Risque R_1 – Choix des mesures de protection

Le risque R_1 dans la structure concerne principalement la zone Z_3 en raison des dommages physiques dus aux impacts de foudre sur la structure ou les services connectés (composantes $R_B \approx 49\%$ et $R_V \approx 50\%$ avec couverture de 99 % du risque total) (voir Tableau E.20).

Ces composantes de risque prédominantes peuvent être réduites par les mesures suivantes:

- protéger tout le bâtiment avec un SPF conforme à la CEI 62305-3 pour réduire la composante R_B par la probabilité P_B . La réalisation obligatoire de la liaison équipotentielle de foudre à l'entrée réduit également les composantes R_U et R_V par la probabilité P_{EB} ;
- équiper la zone Z_3 (archives) de mesures de protection pour réduire les conséquences du feu (par exemple extincteurs, système automatique de détection incendie, etc.). Ceci permet de réduire les composantes R_B et R_V par le facteur de réduction r_p ;
- assurer la liaison équipotentielle de foudre conforme à la CEI 62305-3 à l'entrée du bâtiment. Ceci ne réduit que les composantes R_U et R_V par la probabilité P_{EB} .

En associant les différents éléments de ces mesures de protection, les solutions suivantes peuvent être adoptées:

Solution a)

- Protection du bâtiment avec un SPF de classe III conforme à la CEI 62305-3, pour réduire la composante R_B ($P_B = 0,1$).
- Ce SPF comprend la liaison équipotentielle de foudre obligatoire à l'entrée avec des parafoudres désignés pour le NPF III ($P_{EB} = 0,05$) et réduit les composantes R_U et R_V .

Solution b)

- Protection du bâtiment avec un SPF de classe IV conforme à la CEI 62305-3, pour réduire la composante R_B ($P_B = 0,2$).
- Ce SPF comprend la liaison équipotentielle de foudre obligatoire à l'entrée avec des parafoudres désignés pour le NPF IV ($P_{EB} = 0,05$) et réduit les composantes R_U et R_V .
- Utilisation de systèmes d'extinction (ou de détection) d'incendie pour réduire les composantes R_B et R_V . Installation d'un système manuel dans la zone Z_3 (archives) ($r_p = 0,5$).

Pour les deux solutions, les valeurs de risque du Tableau E.20 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.21.

Tableau E.21 – Bâtiment de bureaux: Risque R_1 pour la structure protégée
(valeurs $\times 10^{-5}$)

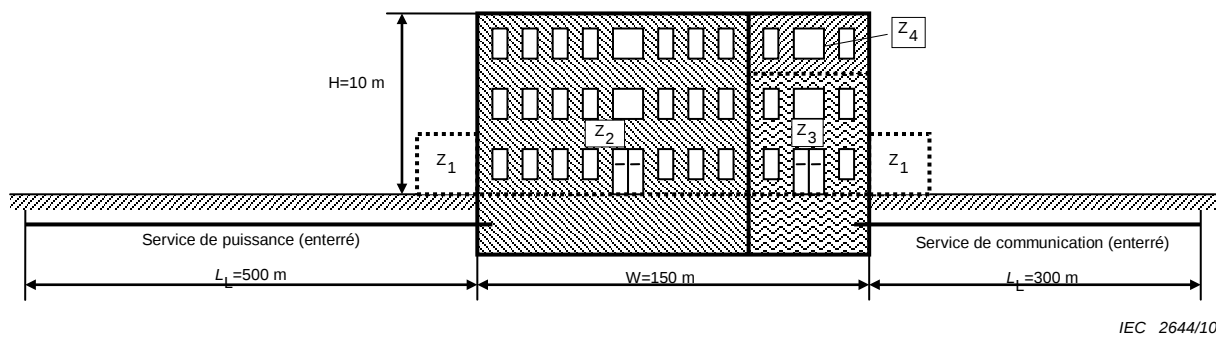
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Total	Tolérable	Résultat
Solution a)	≈ 0	0	0,664	0,053	0,005	$R_1 = 0,722$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$
Solution b)	≈ 0	0	0,552	0,089	0,008	$R_1 = 0,648$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$

Les deux solutions réduisent le risque en dessous de la valeur tolérable. La solution à adopter dépend du meilleur compromis entre les aspects techniques et économiques.

E.4 Hôpital

Une étude de cas plus complexe concerne un établissement hospitalier normal qui comprend un bloc chambres, un bloc opératoire et une unité de soins intensifs.

Les pertes humaines (L1) et les pertes économiques (L4) peuvent affecter ce type de structure. Il est nécessaire d'évaluer le besoin de protection et les impacts économiques des mesures de protection, si bien que les risques R_1 et R_4 doivent être évalués.



Légende

- Z_1 : l'extérieur
- Z_2 : bloc chambres
- Z_3 : bloc opératoire
- Z_4 : unité de soins intensifs

Figure E.3 – Hôpital

E.4.1 Données et caractéristiques concernées

L'hôpital est situé dans une région plate sans structures environnantes. La densité de foudroiement est $N_G = 4$ impacts au km^2 par an.

Les données relatives au bâtiment et à son environnement sont données dans le Tableau E.22.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.23 et pour le service de communication dans le Tableau E.24.

Tableau E.22 – Hôpital: Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Densité de foudroiement (1/km ² /an)		N_G	4,0	
Dimensions de la structure (m)		L, W, H	50, 150, 10	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	C_D	1	Tableau A.1
SPF	Aucun	P_B	1	Tableau B.2
Liaison équipotentielle	Aucune	P_{EB}	1	Tableau B.7
Écran spatial extérieur	Aucun	K_{S1}	1	Formule (B.5)

Tableau E.23 – Hôpital: Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	500	
Facteur d'installation	Enterré	C_i	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	De puissance HT (avec transformateur HT/BT)	C_T	0,2	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Suburbain	C_E	0,5	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Écran de service relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté.	R_S	$R_S \leq 1$	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Écran de service relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté.	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	0	
Structure adjacente (m)	Aucune	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	Formule (B.7)
		P_{LD}	0,2	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.24 – Hôpital: Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	300	
Facteur d'installation	Enterré	C_i	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service de communication	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Suburbain	C_E	0,5	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Écran de service relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	R_S	$1 < R_S \leq 5$	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Écran de service relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	0	
Structure adjacente (m)	Longueur, largeur, hauteur	L_J, W_J, H_J	20, 30, 5	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Structure isolée	C_{DJ}	1	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau		U_w	1,5	

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
interne (kV)				
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	Formule (B.7)
		P_{LD}	0,8	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.4.2 Définition des zones de l'hôpital

Les zones suivantes sont définies:

- Z_1 (à l'extérieur du bâtiment);
- Z_2 (bloc chambres);
- Z_3 (bloc opératoire);
- Z_4 (unité de soins intensifs).

en tenant compte des éléments suivants:

- le type de surface est différent à l'extérieur et à l'intérieur de la structure;
- deux compartiments isolés à l'épreuve du feu existent: un pour le bloc chambres (Z_2) et l'autre pour le bloc opératoire et l'unité de soins intensifs (Z_3 et Z_4);
- dans toutes les zones intérieures Z_2 , Z_3 et Z_4 , des réseaux internes sont connectés aux services de puissance et de communication;
- il n'y a pas de blindages spatiaux;
- l'unité de soins intensifs contient de nombreux réseaux de communication sensibles et un écran spatial peut être adopté comme mesure de protection.

Dans les différentes zones à l'intérieur et à l'extérieur de l'hôpital, un nombre total de 1 000 personnes doit être pris en compte.

Le nombre de personnes, la durée de présence et les valeurs économiques associés à chaque zone sont différents. La distribution dans les zones individuelles et les valeurs totales sont indiquées dans le Tableau E.25. Ces valeurs sont ensuite utilisées pour subdiviser les valeurs des pertes totales en fractions pour chaque zone.

Tableau E.25 – Hôpital: Distribution des personnes et valeurs économiques dans les zones

Zone	Nombre de personnes	Durée de présence (h/a)	Valeurs économiques en \$ × 10 ⁶				
			Animaux c_a	Bâtiment c_b	Contenu c_c	Réseaux internes c_s	Total c_t
Z_1 (à l'extérieur du bâtiment)	10	8 760	–	–	–	–	–
Z_2 (bloc chambres)	950	8 760	–	70	6	3,5	79,5
Z_3 (bloc opératoire)	35	8 760	–	2	0,9	5,5	8,4
Z_4 (unité de soins intensifs)	5	8 760	–	1	0,1	1,0	2,1
Total	$n_t = 1000$	–	0	73	7	10	90,0

Pour le risque R_1 , selon l'évaluation des mesures de protection contre la foudre par le concepteur, les valeurs de pertes types (valeurs moyennes types des pertes relatives annuelles) selon le Tableau C.2 et le facteur croissant pour les dangers particuliers selon le Tableau C.6 sont:

- $L_T = 10^{-2}$ dans la zone Z_1 à l'extérieur de la structure;
- $L_T = 10^{-2}$ dans les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 à l'intérieur de la structure;

- $L_F = 10^{-1}$ dans les zones Z_2, Z_3, Z_4 à l'intérieur de la structure;
- $h_z = 5$ dans les zones Z_2, Z_3, Z_4 à l'intérieur de la structure du fait de la difficulté d'évacuation;
- $L_O = 10^{-3}$ dans la zone Z_2 (bloc chambres) ;
- $L_O = 10^{-2}$ dans la zone Z_3 (bloc opératoire) et la zone Z_4 (unité de soins intensifs).

Ces valeurs de pertes types ont été réduites pour chaque zone selon les Formules (C.1) à (C.4), en tenant compte du nombre de personnes mises en danger dans la zone individuelle par rapport au nombre total de personnes considérées et la durée de leur présence.

Pour le risque R_4 , les valeurs de pertes types selon le Tableau C.12 sont:

- $L_T = 0$ pas d'animaux mis en danger;
- $L_F = 0,5$ dans les zones Z_2, Z_3, Z_4 à l'intérieur de la structure;
- $L_O = 10^{-2}$ dans les zones Z_2, Z_3, Z_4 à l'intérieur de la structure.

Ces valeurs de pertes types ont été réduites pour chaque zone selon les Formules (C.11) à (C.13) en tenant compte de la valeur mise en danger dans la zone individuelle par rapport au coût total de la structure considéré (animaux, bâtiment, contenu, réseaux internes et activités). La valeur mise en danger dans une zone individuelle dépend du type de dommage:

- D1 (blessure par choc électrique): coût c_a des animaux uniquement;
- D2 (dommages physiques): somme de tous les coûts $c_a + c_b + c_c + c_s$;
- D3 (défaillance du réseau interne): coût c_s des réseaux internes et de leurs activités uniquement.

Les caractéristiques résultantes des zones Z_1 à Z_4 sont données dans les Tableaux E.26 à E.29.

Tableau E.26 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_1 (à l'extérieur du bâtiment)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de sol	Béton	r_t	10^{-2}	Tableau C.3
Protection contre les chocs	Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_f	0	Tableau C.5
Protection contre l'incendie	Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
L1: Perte de vie humaine	Danger particulier: Aucun	h_z	1	Tableau C.5
	D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
	D2: due aux dommages physiques	L_F	0	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	0	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \cdot t_z/8\,760 = 10/1\,000 \times 8\,760/8\,760$	–	0,01	

Tableau E.27 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z₂ (bloc chambres)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.9
Risque d'incendie		Ordinaire	r_f	10^{-2}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.2
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	
		D2: due aux dommages physiques	L_F	10^{-1}	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-3}	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8\,760 = 950/1\,000 \times 8\,760/8\,760$	–	0,95	
L4: Perte économique		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,5	Tableau C.12
		D2: Facteur $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 79,5 / 90$	–	0,883	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-2}	
		D3: Facteur $c_s / c_t = 3,5 / 90$	–	0,039	

Tableau E.28 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z₃ (bloc opératoire)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.9
Risque d'incendie		Faible	r_f	10^{-3}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Service de puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Service de communication	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
		D2: due aux dommages physiques	L_F	10^{-1}	

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-2}	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 35/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,035	
L4: Perte économique	D2: due aux dommages physiques	L_F	0,5	Tableau C.12
	D2: Facteur $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 8,4 / 90$	–	0,093	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-2}	
	D3: Facteur $c_s / c_t = 5,5 / 90$	–	0,061	

Tableau E.29 – Hôpital: Facteurs valables pour la zone Z_4 (unité de soins intensifs)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)		Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)		Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.9
Risque d'incendie		faible	r_f	10^{-3}	Tableau C.5
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.4
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Service de puissance	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Service de communication	Câblage interne	Non blindé (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10^{-2}	Tableau C.2
		D2: due aux dommages physiques	L_F	10^{-1}	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-2}	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 5/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,005	
L4: Perte économique		D2: due aux dommages physiques	L_F	0,5	Tableau C.12
		D2: Facteur $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 2,1 / 90$	–	0,023	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_O	10^{-2}	
		D3: Facteur $c_s / c_t = 1,0 / 90$	–	0,011	

E.4.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs sont donnés dans le Tableau E.30 pour les surfaces équivalentes d'exposition et dans le Tableau E.31 pour le nombre prévisible d'événements dangereux.

Tableau E.30 – Hôpital: Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence Formule	Formule
Structure	A_D	$2,23 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	$9,85 \times 10^5$	(A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L+W) + \pi \times 500^2$
Service de puissance	$A_{L/P}$	$2,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$2,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$A_{L/T}$	$1,20 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$1,20 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	$2,81 \times 10^3$	(A.2)	$A_{DJ/T} = L_J \times W_J + 2 \times (3H_J) \times (L_J + W_J) + \pi \times (3H_J)^2$

Tableau E.31 – Hôpital: Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence Formule	Formule
Structure	N_D	$8,93 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_{D/B} \times C_{D/B} \times 10^{-6}$
	N_M	3,94	(A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Service de puissance	$N_{L/P}$	$4,00 \times 10^{-3}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	$4,00 \times 10^{-1}$	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$1,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	1,20	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	$1,12 \times 10^{-2}$	(A.5)	$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$

E.4.4 Risque R_1 – Décision relative au besoin de protection

Les valeurs des probabilités P_x sont données dans le Tableau E.32 et les composantes de risque pour la structure non protégée sont indiquées dans le Tableau E.33.

Tableau E.32 – Hôpital: Risque R_1 – Valeurs de la probabilité P pour la structure non protégée

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Référence Formule	Formule
D1 Blessure due aux chocs	P_A	1		1			
	$P_{U/P}$			0,2			
	$P_{U/T}$			0,8			
D2 Dommages physiques	P_B			1			
	$P_{V/P}$			0,2			
	$P_{V/T}$			0,8			
D3 Défaillances des réseaux internes	P_C			1		(14)	$P_C = 1 - (1 - P_{C/P}) \times (1 - P_{C/T}) = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1)$
	P_M			0,0064		(15)	$P_M = 1 - (1 - P_{M/P}) \times (1 - P_{M/T}) = 1 - (1 - 0,0064) \times (1 - 0,00004)$
	$P_{W/P}$			0,2			
	$P_{W/T}$			0,8			
	$P_{Z/P}$			0			
	$P_{Z/T}$			0			

Tableau E.33 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure due aux chocs	R_A	0,009	0,000 9	≈ 0	≈ 0	0,010
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Dommages physiques	R_B		42,4	0,156	0,022	42,6
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		9,21	0,034	0,005	9,245
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C		8,484	3,126	0,447	12,057
	R_M		2,413	0,889	0,127	3,429
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		1,841	0,678	0,097	2,616
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		0,009	64,37	4,89	0,698	$R_1 = 69,96$
Tolérable		$R_1 > R_T$: Besoin de protection contre la foudre				$R_T = 1$

Du fait que $R_1 = 69,96 \times 10^{-5}$ est supérieur à la valeur tolérable $R_T = 10^{-5}$, une protection contre la foudre de la structure est exigée.

E.4.5 Risque R_1 – Choix des mesures de protection

Le risque R_1 est principalement influencé (voir Tableau E.33):

- dans la zone Z_2 par les dommages physiques (composantes $R_B \approx 61$ % et $R_V \approx 13$ % du risque total);
- dans les zones Z_2 et Z_3 par les défaillances des réseaux internes (composantes $R_C \approx 12$ % et $R_M \approx 5$ % respectivement) du risque total.

Ces composantes de risque prédominantes peuvent être réduites par les mesures suivantes:

- protéger tout le bâtiment avec un SPF conforme à la CEI 62305-3 pour réduire la composante R_B par la probabilité P_B . La réalisation obligatoire de la liaison équipotentielle de foudre à l'entrée réduit également les composantes R_U et R_V par la probabilité P_{EB} ;

- équiper la zone Z_2 de mesures de protection pour réduire les conséquences du feu (par exemple extincteurs, système automatique de détection incendie, etc.). Ceci permet de réduire les composantes R_B et R_V par le facteur de réduction r_p ;
- équiper les zones Z_3 et Z_4 avec un système de protection coordonnée par parafoudres conforme à la CEI 62305-4 pour les réseaux internes de puissance et de communication. Ceci permet de réduire les composantes R_C , R_M , R_W , R_Z par la probabilité $P_{\text{parafoudre}}$;
- équiper les zones Z_3 et Z_4 avec un blindage spatial maillé approprié conforme à la CEI 62305-4. Ceci permet de réduire les composantes R_M par la probabilité P_M .

En associant les différents éléments de ces mesures de protection, les solutions suivantes peuvent être adoptées:

Solution a)

- protection du bâtiment avec un SPF de classe I ($P_B=0,02$ y compris également $P_{EB} = 0,01$);
- installation d'une protection coordonnée par parafoudres sur les réseaux internes de puissance et de communication pour (1,5 x) meilleure que NPF I ($P_{\text{parafoudre}}=0,005$) dans les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
- équipement de la zone Z_2 avec un système automatique de détection incendie ($r_p=0,2$ pour la zone Z_2 uniquement);
- équipement des zones Z_3 et Z_4 avec un écran maillé avec $w_m = 0,5$ m.

Avec cette solution, les valeurs de risque du Tableau E.33 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.34.

Tableau E.34 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution a)
(valeurs $\times 10^{-5}$)

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure due aux chocs	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Dommages physiques	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C		0,085	0,031	0,004	0,12
	R_M		0,012	≈ 0	≈ 0	0,012
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,009	0,003	≈ 0	0,004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,294	0,038	0,005	$R_1 = 0,338$
Tolérable		$R_1 < R_T$: La structure est protégée pour ce type de perte				$R_T = 1$

Solution b)

- protection du bâtiment avec un SPF de classe I ($P_B = 0,02$ y compris également $P_{EB}=0,01$);
- installation d'une protection coordonnée par parafoudres sur les réseaux internes de puissance et de communication pour (3 x) meilleure que NPF I ($P_{\text{parafoudre}} = 0,001$) dans les zones Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
- équipement de la zone Z_2 avec un système automatique de détection incendie ($r_p=0,2$ pour la zone Z_2 uniquement).

Avec cette solution, les valeurs de risque du Tableau E.33 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.35.

Tableau E.35 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution b)
(valeurs $\times 10^{-5}$)

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure due aux chocs	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Dommages physiques	R_B		0,170	0,003	0,001	0,174
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C		0,017	0,006	0,001	0,024
	R_M		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,209	0,011	0,002	$R_1 = 0,222$
Tolérable		$R_1 < R_T$: La structure est protégée pour ce type de perte				$R_T = 1$

Solution c)

- protection du bâtiment avec un SPF de classe I ($P_B = 0,02$ y compris également $P_{EB}=0,01$);
- installation d'une protection coordonnée par parafoudres sur les réseaux internes de puissance et de communication pour (2 x) meilleure que NPF I ($P_{\text{parafoudre}} = 0,002$) dans les zones Z_2, Z_3, Z_4 ;
- équipement de la zone Z_2 avec un système automatique de détection incendie ($r_p=0,2$ pour la zone Z_2 uniquement) ;
- équipement des zones Z_3 et Z_4 avec un écran maillé avec $w_m = 0,1$ m.

Avec cette solution, les valeurs de risque du Tableau E.33 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.36.

Tableau E.36 – Hôpital: Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution c)
(valeurs $\times 10^{-5}$)

Type de dommage	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure due aux chocs	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Dommages physiques	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C		0,034	0,012	0,002	0,048
	R_M		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,004	0,001	≈ 0	0,005
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,226	0,016	0,002	$R_1 = 0,244$
Tolérable		$R_1 < R_T$: La structure est protégée pour ce type de perte				$R_T = 1$

Toutes les solutions réduisent le risque en dessous de la valeur tolérable. La solution à adopter dépend du meilleur compromis entre les aspects techniques et économiques.

E.4.6 Risque R_4 – Analyse de rentabilité

Pour la perte économique L_4 , le risque correspondant R_4 peut être évalué de la même manière que précédemment. Tous les paramètres requis pour l'évaluation des composantes de risque sont donnés dans les Tableaux E.22 à E.29, pour lesquelles seules les valeurs de pertes L_x pour la perte économique L_4 sont valables. Par conséquent, seules les zones Z_2 , Z_3 et Z_4 sont affectées et la zone Z_1 n'est pas prise en compte (ne peut être affectée que dans le cas de la perte d'animaux).

Les valeurs économiques (animaux, bâtiment, réseaux internes et activités) ont été données dans le Tableau E.25 pour chaque zone et au total.

A partir des valeurs de risque R_4 ou R'_4 et du coût total de la structure $c_t = 90 \times 10^6$ \$ (Tableau E.25), le coût annuel des pertes $C_L = R_4 \times c_t$ pour la structure non protégée et $C_{RL} = R'_4 \times c_t$ pour la structure protégée peut être calculé (voir Formules (D.2) et (D.4)). Les résultats sont indiqués dans le Tableau E.37.

Tableau E.37 – Hôpital: Coût des pertes C_L (non protégée) et C_{RL} (protégée)

Protection	Risque R_4 (valeurs $\times 10^{-5}$)					Coût des pertes \$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure	C_L ou C_{RL}
Non protégée	–	53,2	8,7	1,6	63,5	57 185
Solution a)	–	0,22	0,07	0,01	0,30	271
Solution b)	–	0,18	0,02	0,005	0,21	190
Solution c)	–	0,19	0,03	0,007	0,23	208

Les valeurs des taux d'intérêt, d'amortissement et du coût de maintenance relatives aux mesures de protection sont données dans le Tableau E.38.

Tableau E.38 – Hôpital: Taux relatifs aux mesures de protection

Taux	Symbole	Valeur
Intérêt	i	0,04
Amortissement	a	0,05
Maintenance	m	0,01

Une liste des coûts C_P pour les mesures de protection possibles et le coût annuel C_{PM} des mesures de protection adoptées dans la solution a), b) ou c) sont donnés dans le Tableau E.39 (voir Formule (D.5)).

Tableau E.39 – Hôpital: Coûts C_P et C_{PM} des mesures de protection (valeurs en \$)

Mesure de protection	Coût C_P	Coût annuel $C_{PM} = C_P (i + a + m)$		
		Solution a)	Solution b)	Solution c)
SPF de classe I	100 000	10 000	10 000	10 000
Protection automatique contre l'incendie dans la zone Z_2	50 000	5 000	5 000	5 000
Ecran des zones Z_3 et Z_4 ($w = 0,5$ m)	100 000	10 000		
Ecran des zones Z_3 et Z_4 ($w = 0,1$ m)	110 000			11 000
Parafoudre sur le réseau de puissance ($1,5 \times \text{NPF I}$)	20 000	2 000		
Parafoudre sur le réseau de puissance	24 000			2 400

Mesure de protection	Coût C_P	Coût annuel $C_{PM} = C_P (I + a + m)$		
		Solution a)	Solution b)	Solution c)
(2 × NPF I)				
Parafoudre sur le réseau de puissance (3 × NPF I)	30 000		3 000	
Parafoudre sur le réseau de communication (1,5 × NPF I)	10 000	1 000		
Parafoudre sur le réseau de communication (2 × NPF I)	12 000			1 200
Parafoudre sur le réseau de communication (3 × NPF I)	15 000		1 500	
Coût annuel total C_{PM}		28 000	19 500	29 600

L'économie annuelle en monnaie S_M peut être évaluée en comparant le coût annuel des pertes C_L pour la structure non protégée avec la somme des coûts annuels des pertes résiduelles C_{RL} pour la structure protégée et le coût annuel des mesures de protection C_{PM} . Les résultats pour les solutions a), b) et c) sont donnés dans le Tableau E.40.

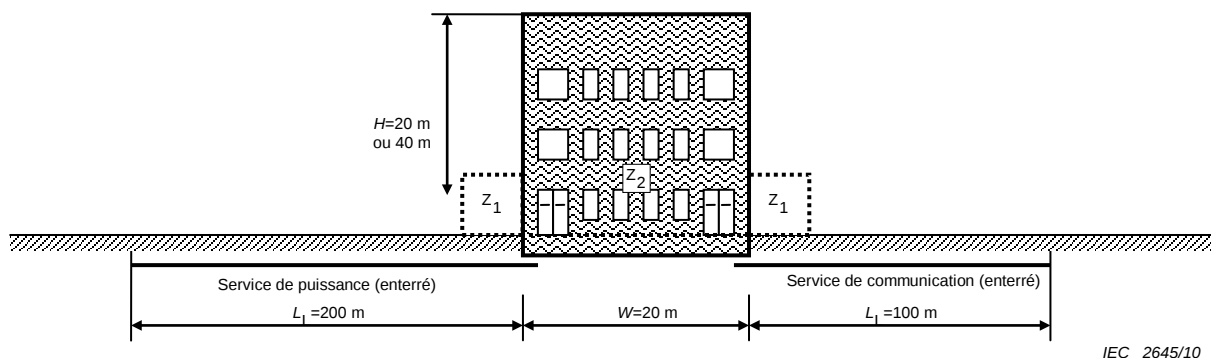
Tableau E.40 – Hôpital: Économie annuelle en monnaie (valeurs en \$)

	Symbole	Solution a)	Solution b)	Solution c)
Perte pour la structure non protégée	C_L	57 185	57 185	57 185
Perte résiduelle pour la structure protégée	C_{RL}	271	190	208
Coût annuel de la protection	C_{PM}	28 000	19 500	29 600
Économie annuelle $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	28 914	37 495	27 377

E.5 Immeuble d'appartements

Cette étude de cas concerne la comparaison des différentes solutions de mesures de protection contre la foudre applicables à un immeuble d'appartements. Les résultats indiquent que certaines solutions peuvent se révéler insuffisantes, tandis que plusieurs solutions appropriées peuvent être choisies sur la base de différentes combinaisons de mesures de protection.

Seul le risque R_1 pour la perte de vie humaine (L1) avec les composantes de risque R_A , R_B , R_U et R_V (selon le Tableau 2) est déterminé et comparé à la valeur tolérable $R_T = 10^{-5}$ (selon le Tableau 4). L'évaluation économique n'est pas nécessaire, par conséquent le risque R_4 pour la perte économique (L4) n'est pas pris en compte.



Légende

Z_1 : l'extérieur; Z_2 : l'intérieur

Figure E.4 – Immeuble d'appartements

E.5.1 Données et caractéristiques concernées

L'immeuble d'appartements est situé dans une région plate sans structures environnantes. La densité de foudroiement est $N_G = 4$ impacts au km^2 par an. 200 personnes vivent dans la maison. Il s'agit également du nombre total de personnes à prendre en compte, car à l'extérieur de la maison aucune personne n'est supposée présente pendant un orage.

Les données relatives à l'immeuble et à son environnement sont données dans le Tableau E.41.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.42 et pour le service de communication dans le Tableau E.43.

Tableau E.41 – Immeuble d'appartements: Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Densité de foudroiement ($1/\text{km}^2/\text{an}$)		N_G	4,0	
Dimensions de la structure (m)	$H = 20$ ou 40 (voir Tableau E.45)	L, W, H	30, 20	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	C_D	1	Tableau A.1
SPF	Variable (voir Tableau E.45)	P_B	–	Tableau B.2
Liaison équipotentielle	Aucune	P_{EB}	1	Tableau B.7
Écran spatial extérieur	Aucun	K_{S1}	1	Formule (B.5)

Tableau E.42 – Immeuble d'appartements: Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	200	
Facteur d'installation	Enterré	C_I	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service BT	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Suburbain	C_E	0,5	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	
Structure adjacente (m)	Aucun	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.43 – Immeuble d'appartements: Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_L	100	
Facteur d'installation	Enterré	C_i	0,5	Tableau A.2
Facteur de type de service	Service de communication	C_T	1	Tableau A.3
Facteur d'environnement	Suburbain	C_E	0,5	Tableau A.4
Écran de service (Ω/km)	Non blindé	R_S	–	Tableau B.8
Blindage, mise à la terre, isolation	Aucun	C_{LD}	1	Tableau B.4
		C_{LI}	1	
Structure adjacente (m)	Aucune	L_J, W_J, H_J	–	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	C_{DJ}	–	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	Formule (B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.5.2 Définition des zones dans l'immeuble d'appartements

Les zones suivantes peuvent être définies:

- Z_1 (à l'extérieur du bâtiment);
- Z_2 (à l'intérieur du bâtiment).

Pour la zone Z_1 il est supposé que personne ne se tient à l'extérieur du bâtiment. Par conséquent, le risque d'impact sur les personnes $R_A = 0$. Du fait que R_A constitue la seule composante de risque à l'extérieur du bâtiment, la zone Z_1 peut être totalement omise.

La zone Z_2 est définie en tenant compte des éléments suivants:

- la structure est classée comme "bâtiment civil";
- les deux réseaux internes (de puissance et de communication) existent dans cette zone;
- il n'y a pas de blindages spatiaux;
- la structure est un compartiment unique à l'épreuve du feu;
- les pertes sont supposées correspondre aux valeurs moyennes types du Tableau C.1.

Les facteurs résultants valables pour la zone Z_2 sont indiqués dans le Tableau E.44.

Tableau E.44 – Immeuble d'appartements: Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher	Bois	r_t	10^{-5}	Tableau C.3
Protection contre les chocs (impact sur la structure)	Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Protection contre les chocs (impact sur le service)	Aucune	P_{TU}	1	Tableau B.6
Risque d'incendie	Variable (voir Tableau E.4.5)	r_f	–	Tableau C.5
Protection contre l'incendie	Variable (voir Tableau E.4.5)	r_p	–	Tableau C.4
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	Formule (B.6)
Puissance	Câblage interne	K_{S3}	0,2	Tableau B.5

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
Communi- cation	Câblage interne	Non blindé (boucles de grande taille >10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	$P_{\text{parafoudre}}$	1	Tableau B.3
L1: Perte de vie humaine		Danger particulier: Aucun	h_z	1	Tableau C.6
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_T	10 ⁻²	Tableau C.2
		D2: due aux dommages physiques	L_F	10 ⁻¹	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 200/200 \times 8760/8760$	–	1	

E.5.3 Risque R_1 – Choix des mesures de protection

Les valeurs du risque R_1 et les mesures de protection choisies pour réduire le risque à un niveau tolérable $R_T = 10^{-5}$ sont données dans le Tableau E.45 en fonction des paramètres suivants:

- hauteur du bâtiment H ;
- facteur de réduction r_f pour le risque d'incendie;
- facteur de réduction r_p des conséquences du feu;
- probabilité P_B dépendant de la classe du SPF adopté.

Tableau E.45 – Immeuble d'appartements: Risque R_1 pour l'immeuble d'appartements en fonction des mesures de protection

Hauteur H m	Risque d'incendie		SPF		Protection contre le feu		Risque R_1 Valeurs $\times 10^{-5}$	Structure protégée ($R_1 \leq R_T$)
	Type	r_f	Classe	P_B	Type	r_p		
20	Faible	0,001	Aucun	1	Aucun	1	0,837	Oui
	Ordinaire	0,01	Aucun	1	Aucun	1	8,364	Non
			III	0,1	Aucun	1	0,776	Oui
			IV	0,2	Manuel	0,5	0,747	Oui
	Elevé	0,1	Aucun	1	Aucun	1	83,64	Non
			II	0,05	Automatique	0,2	0,764	Oui
			I	0,02	Aucun	1	1,553	Non
			I	0,02	Manuel	0,5	0,776	Oui
40	Faible	0,001	Aucun	1	Aucun	1	2,436	Non
			Aucun	1	Automatique	0,2	0,489	Oui
			IV	0,2	Aucun	1	0,469	Oui
	Ordinaire	0,01	Aucun	1	Aucun	1	24,34	Non
			IV	0,2	Automatique	0,2	0,938	Oui
			I	0,02	Aucun	1	0,475	Oui
	Elevé	0,1	Aucun	1	Aucun	1	243,4	Non
			I	0,02	Automatique	0,2	0,949	Oui

Bibliographie

- [1] CEI 61000-4-5:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*
 - [2] CEI 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*
 - [3] CEI 60079-10-2:2009, *Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses*
 - [4] CEI 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*
 - [5] CEI 60050-426:2008, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 426: Matériel pour atmosphères explosives*
 - [6] Journal Officiel des Communautés Européennes 1994/28/02, n° C 62/63
 - [7] Recommandation UIT-T K.47, *Protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques contre les décharges directes de foudre*
 - [8] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part I: Return stroke current models with specified channel-base current for the evaluation of return stroke electromagnetic fields*. CIGRE Electra No 161 (August 1995)
 - [9] NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part II: Coupling models for the evaluation of the induced voltages*. CIGRE Electra No 162 (October 1995)
 - [10] CEI/TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems – General basic information* (disponible uniquement en anglais)
 - [11] Recommandation UIT-T K.46, *Protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques symétriques contre les surtensions induites par la foudre*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch