



**Avant-projet de norme soumis à enquête probatoire jusqu'au :
10 décembre 2009**

prNF EN 62305-2

indice de classement : C 17-100-2

T1

T2 Protection contre la foudre

T3 Partie 2 : gestion des risques

E : Protection against lightning - Part 2 : risk management

D :

Avant-projet de norme française homologuée

Est destiné à remplacer la norme homologuée NF EN 62305-2, de novembre 2006.

Correspondance

Analyse

Modifications

**CEI 62305-2, Ed.2: Protection contre la foudre –
Partie 2: Evaluation des risques**

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Domaine d'application	11
2 Références normatives	11
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	11
3.1 Termes et définitions	11
4 Explication des termes.....	20
4.1 Dommages et pertes.....	20
4.1.1 Sources de dommages.....	20
4.1.2 Types de dommages.....	20
4.1.3 Types de pertes	20
4.2 Risque et composantes de risque	21
4.2.1 Risque	21
4.2.2 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur la structure	22
4.2.3 Composante de risque pour une structure dû aux impacts à proximité de la structure.....	22
4.2.4 Composantes de risque pour une structure dû aux impacts sur un service connecté à la structure	22
4.2.5 Composante de risque pour une structure dû à un impact à proximité d'un service connecté à la structure.....	23
4.3 Composition des composantes de risque liées à la structure.....	23
5 Evaluation des risques.....	25
5.1 Procédure de base	25
5.2 Structure à prendre en compte pour l'évaluation des risques	25
5.3 Risque tolérable R_T	25
5.4 Procédure particulière pour évaluer le besoin de protection	26
5.5 Procédure d'évaluation des impacts économiques de la protection	27
5.6 Mesures de protection	29
5.7 Choix des mesures de protection	30
6 Evaluation des composantes de risque pour les structures	30
6.1 Formule de base.....	30
6.2 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur une structure (S1)	30
6.3 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts à proximité de la structure (S2)	31
6.4 Evaluation des composantes du risque dû aux impacts sur un service connecté à la structure (S3).....	31
6.5 Evaluation de la composante du risque dû aux impacts à proximité d'un service connecté à la structure (S4)	32
6.6 Synthèse des composantes de risque dans une structure	33
6.7 Partition d'une structure en zones Z_S	33
6.8 Partition d'un service en sections S_S	34
6.9 Evaluation des composantes de risque dans une structure avec des zones Z_S	34
6.9.1 Structure avec une seule zone	34
6.9.2 Structure à zones multiples.....	35
6.10 Analyse de rentabilité pour la perte économique (L4)	35

Annexe A (informative) Evaluation du nombre annuel N d'événements dangereux	36
A.1 Généralités.....	36
A.2 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux N_D dus aux coups de foudre sur une structure et N_{Da} sur une structure connectée à l'extrémité «a» d'un service	36
A.2.1 Détermination de la surface équivalente d'exposition A_d	36
A.2.2 Structure faisant partie d'un bâtiment	39
A.2.3 Emplacement relatif d'une structure	40
A.2.4 Nombre d'événements dangereux N_D pour une structure (extrémité «b» d'un service)	41
A.2.5 Nombre d'événements dangereux N_{Da} pour une structure adjacente (extrémité «a» d'un service).....	41
A.3 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'une structure N_M	41
A.4 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre sur un service N_L	42
A.5 Evaluation du nombre annuel moyen des événements dangereux dus aux coups de foudre à proximité d'un service N_i	43
Annexe B (informative) Evaluation de la probabilité de dommages P_x d'une structure	44
B.1 Probabilité P_A pour qu'un impact sur la structure entraîne des blessures d'êtres vivants	44
B.2 Probabilité P_B pour qu'un impact sur une structure entraîne des dommages physiques.....	45
B.3 Probabilité P_C pour qu'un impact sur une structure entraîne des défaillances des réseaux internes.....	45
B.4 Probabilité P_M pour qu'un impact à proximité d'une structure entraîne des défaillances des réseaux internes	47
B.5 Probabilité P_U pour qu'un impact sur un service entraîne des blessures d'êtres vivants	48
B.6 Probabilité P_V pour qu'un impact sur un service entraîne des dommages physiques.....	50
B.7 Probabilité P_W pour qu'un impact sur un service entraîne des défaillances des réseaux internes.....	50
B.8 Probabilité P_Z pour qu'un impact à proximité d'un service entrant entraîne des défaillances des réseaux internes	51
Annexe C (informative) Evaluation du montant des pertes L_x dans une structure	52
C.1 Montant relatif moyen des pertes annuelles.....	52
C.2 Perte de vie humaine (L1).....	52
C.3 Pertes inacceptables de service public (L2).....	55
C.4 Perte d'héritage culturel irremplaçable (L3)	56
C.5 Pertes économiques (L4)	56
Annexe D (informative) Evaluation des coûts des pertes.....	59
Annexe E (informative) Etude de cas de structures.....	60
E.1 Maison rurale	60
E.1.1 Données et caractéristiques concernées	60
E.1.2 Définition des zones dans la maison rurale.....	62
E.1.3 Calcul des grandeurs correspondantes.....	63
E.1.4 Risque R_1 - Décision relative au besoin de protection	63

E.1.5 Risque R_1 - Choix des mesures de protection	64
E.2 Bâtiment de bureaux.....	64
E.2.1 Données et caractéristiques concernées	65
E.2.2 Définition des zones dans le bâtiment de bureaux	66
E.2.3 Calcul des grandeurs correspondantes.....	69
E.2.4 Risque R_1 - Décision relative au besoin de protection	70
E.2.5 Risque R_1 - Choix des mesures de protection	70
E.3 Hôpital	71
E.3.1 Données et caractéristiques concernées	72
E.3.2 Définition des zones de l'hôpital.....	73
E.3.3 Calcul des grandeurs correspondantes.....	77
E.3.4 Risque R_1 - Décision relative au besoin de protection	77
E.3.5 Risque R_1 - Choix des mesures de protection	78
E.3.6 Risque R_4 - Analyse de rentabilité	80
E.4 Immeuble d'appartements	82
E.4.1 Données et caractéristiques concernées	82
E.4.2 Définition des zones dans l'immeuble d'appartements	84
E.4.3 Risque R_1 - Choix des mesures de protection	85
Bibliographie	86

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Procédure pour la décision du besoin de protection et pour le choix des mesures de protection dans des structures.....	27
Figure 2 – Procédure d'évaluation des impacts économiques des mesures de protection	29
Figure A.1 – Surface équivalente d'exposition A_d d'une structure isolée	37
Figure A.2 – Structure de forme complexe.....	38
Figure A.3 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure concernée.....	39
Figure A.4 – Structure à considérer pour l'évaluation de la surface équivalente d'exposition A_d	40
Figure A.5 – Surfaces équivalentes d'exposition (A_d , A_m , A_i , A_l)	43
Figure E.1 – Maison rurale	60
Figure E.2 – Bâtiment de bureaux	65
Figure E.3 - Hôpital.....	72
Figure E.4 – Immeuble d'appartements	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Sources de dommages, types de dommages et types de pertes en fonction du point d'impact	21
Tableau 2 – Composantes de risque à prendre en compte pour chaque type de perte dans une structure	24
Tableau 3 – Facteurs d'influence des composantes de risque dans une structure	24
Tableau 4 – Valeurs types pour le risque tolérable R_T	25

Tableau 5 – Paramètres associés à l'évaluation des composantes de risque pour les structures	32
Tableau 6 – Composantes de risque pour différents types de dommages causés par différentes sources	33
Tableau A.1 – Facteur d'emplacement C_d	41
Tableau A.2 – Facteur d'installation C_i	42
Tableau A.3 – Facteur de type de service C_t	42
Tableau A.4 – Facteur d'environnement C_e	42
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.....	44
Tableau B.2– Valeurs de P_B en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques	45
Tableau B.3 – Valeur de probabilité P_{SPD} en fonction des niveaux de protection contre la foudre pour lesquels le parafoudre est conçu.....	45
Tableau B.4 – Valeurs des facteurs C_{LD} et C_{LI} associés aux conditions de blindage, de mise à la terre et d'isolation	46
Tableau B.5 – Valeur du facteur K_{S3} en fonction du câblage interne.....	48
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.....	49
Tableau B.7 – Valeur de la probabilité P_{EB} en fonction du NPF pour lequel les parafoudres sont conçus	49
Tableau B.8 – Valeur de la probabilité P_{LD} en fonction de la résistance R_S de l'écran du câble et de la tension de tenue aux chocs U_W du matériel.....	49
Tableau B.9 – Valeur de la probabilité P_{LI} en fonction du type de service et de la tension de tenue aux chocs U_W du matériel	51
Tableau C.1 – Type de perte L1 : Valeurs moyennes types de L_t , L_f et L_o	52
Tableau C.2 – Valeurs du facteur de réduction r_t en fonction du type de surface du sol ou du plancher.....	53
Tableau C.3 – Valeurs du facteur de réduction r_p en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu	54
Tableau C.4 – Valeurs du facteur de réduction r_f en fonction du risque d'incendie ou d'explosion de la structure	54
Tableau C.5 – Valeurs du facteur h_z augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier	55
Tableau C.6 – Type de perte L2 : Valeurs moyennes types de L_f et L_o	55
Tableau C.7 – Type de perte L3 : Valeurs moyennes types de L_f	56
Tableau C.8 – Type de perte L4 : valeurs moyennes types de L_t , L_f et L_o	57
Tableau E.1.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure	61
Tableau E.1.2 – Service de puissance.....	61
Tableau E.1.3 – Service de communication	61
Tableau E.1.4 – Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment)	62
Tableau E.1.5 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services.....	63
Tableau E.1.6 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux	63
Tableau E.1.7 – Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$).....	63
Tableau E.1.8 – Valeurs des composantes de risque relatives au risque R_1 pour les cas adaptés.....	64

Tableau E.2.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure	65
Tableau E.2.2 – Service de puissance.....	65
Tableau E.2.3 – Service de communication	66
Tableau E.2.4 – Distribution des personnes dans les zones.....	67
Tableau E.2.5 – Facteurs valables pour la zone Z_1 (zone d'entrée à l'extérieur).....	67
Tableau E.2.6 – Facteurs valables pour la zone Z_2 (jardin).....	68
Tableau E.2.7 – Facteurs valables pour la zone Z_3 (archives).....	68
Tableau E.2.8 – Facteurs valables pour la zone Z_4 (bureaux)	68
Tableau E.2.9 – Facteurs valables pour la zone Z_5 (centre informatique)	69
Tableau E.2.10 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services	70
Tableau E.2.11 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux.....	70
Tableau E.2.12 - Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$).....	70
Tableau E.2.13 – Risque R_1 pour la structure protégée (valeurs $\times 10^{-5}$).....	71
Tableau E.3.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale	72
Tableau E.3.2 – Service de puissance.....	72
Tableau E.3.3 – Service de communication	73
Tableau E.3.4 – Distribution des personnes et valeurs économiques dans les zones	74
Tableau E.3.5 – Facteurs valables pour la zone Z_1 (à l'extérieur du bâtiment)	75
Tableau E.3.6 – Facteurs valables pour la zone Z_2 (bloc chambres).....	75
Tableau E.3.7 – Facteurs valables pour la zone Z_3 (bloc opératoire)	76
Tableau E.3.8 – Facteurs valables pour la zone Z_4 (unité de soins intensifs)	76
Tableau E.3.9 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services.....	77
Tableau E.3.10 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux	77
Tableau E.3.11 – Risque R_1 – Valeurs de la probabilité P pour la structure non protégée.....	77
Tableau E.3.12 - Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$).....	78
Tableau E.3.13 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution a) (valeurs $\times 10^{-5}$).....	79
Tableau E.3.14 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution b) (valeurs $\times 10^{-5}$).....	79
Tableau E.3.15 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution c) (valeurs $\times 10^{-5}$).....	80
Tableau E.3.16 – Coût des pertes C_L (non protégée) et C_{RL} (protégée).....	81
Tableau E.3.17 – Taux relatifs aux mesures de protection	81
Tableau E.3.18 – Coûts C_P et C_{PM} des mesures de protection (valeurs en \$)	81
Tableau E.3.19 – Économie annuelle en monnaie (valeurs en \$).....	82
Tableau E.4.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure totale	83
Tableau E.4.2 – Service de puissance.....	83
Tableau E.4.3 – Service de communication	83
Tableau E.4.4 – Facteurs valables pour la zone Z_2 (à l'intérieur du bâtiment)	84
Tableau E.4.5 – Risque R_1 pour l'immeuble d'appartements en fonction des mesures de protection	85

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Le texte de cette deuxième édition de la CEI 62305-2 est élaboré à partir de la CEI 62305-2, première édition (2006) et la remplace.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants :

FDIS	Rapport de vote
81/xxx/FDIS	81/xxx/RVD

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

Cette publication a été rédigée, aussi fidèlement que possible, selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 62305 comprend les parties suivantes, regroupées sous le titre général *Protection contre la foudre* :

Partie 1 : Principes généraux

Partie 2 : Evaluation des risques

Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains

Partie 4 : Réseaux de puissance et de communication dans les structures

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

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

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 prescrites pour réduire les pertes dues à la foudre. Il est convenu que la nécessité d'une telle protection et son choix soient considérés en termes d'évaluation des risques.

Le risque, défini dans la présente norme 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 et des animaux. 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 1 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 60079-10:2002, *Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses – Partie 10: Classement des emplacements dangereux*

CEI 61241-10:2004, *Matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles – Partie 10: Classification des emplacements où des poussières combustibles sont ou peuvent être présentes*

CEI 62305-1: *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

CEI 62305-3: *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

CEI 62305-4: *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

Pour les besoins de la présente Norme, 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 et dans la CEI 61241-10

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 avec 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 sursensions

NOTE Pour les besoins de la présente norme, 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

réseau interne

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

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 norme 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 (personnes et biens) de la structure à protéger. Elle est exprimée en y^{-1}

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_S

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 quant à la probabilité selon laquelle 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 concevoir 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

PF

installation complète de protection des structures et/ou des réseaux de puissance et de communication contre les effets de la foudre, comprenant généralement un SPF et une **PRPC**

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 protection de réseau de puissance et de communication

PRPC

mesures prises pour réduire le risque de défaillances des réseaux de puissance et de communication dues aux effets de l'IEMF

NOTE Il s'agit d'une partie de la protection générale contre la foudre.

3.1.42**écran 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 (par 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. Il 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, comprenant 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 Les caractéristiques de tenue d'isolement de ces dispositifs doivent être appropriées à la présente application.

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
A_d'	Surface équivalente d'exposition pour les toitures élevées saillantes	A.2.1
A_i	Surface équivalente d'exposition pour les impacts à proximité d'un service.....	A.4; Tableau A.3
A_l	Surface équivalente d'exposition pour les impacts sur un service	A.4; Tableau A.3
A_m	Zone d'influence pour les impacts à proximité d'une structure.....	A.3
B	Bâtiment	A.2
C_d	Facteur d'emplacement	A.2; Tableau A.2
C_e	Facteur d'environnement	A.5, Tableau A.5
C_i	Facteur d'installation du service.....	A.4, A.5, Tableau A.2a
C_L	Coût annuel des pertes totales en l'absence de mesures de protection. 5.6; 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_{RL}	Coût annuel des pertes résiduelles	5.6; Annexe D
C_P	Coût des mesures de protection	Annexe D
C_{PM}	Coût annuel des mesures de protection choisies	5.6, Annexe D
C_t	Facteur de type de service dû à la présence d'un transformateur HT/BT sur le service.....	A.4; Tableau A.2b A.4
c_A	Coût des animaux dans la zone, en monnaie	C.5
c_B	Coût du bâtiment dans la zone, en monnaie.....	C.5
c_C	Coût du contenu de la zone, en monnaie	C.5
c_S	Coût des réseaux internes (y compris leurs activités) dans la zone, en monnaie ..	C.5
c_t	Valeur totale de la structure, en monnaie	C.4
c_Z	Coût de l'héritage culturel dans la zone, en monnaie.....	C.4
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.....	C.2; Tableau C.6
H	Hauteur de la structure	A.4
H_a	Hauteur de la structure connectée à l'extrémité «a» d'un service	A.4
H_b	Hauteur de la structure connectée à l'extrémité «b» d'un service	A.4
i	Taux d'intérêt	Annexe D
K_{MS}	Facteur relatif aux performances des mesures de protection contre l'IEMF	B.4
K_{S1}	Facteur associé à l'efficacité d'écran d'une structure	B.4
K_{S2}	Facteur associé à l'efficacité d'écran des écrans internes à la structure	B.4
K_{S3}	Facteur associé aux caractéristiques du câblage interne	B.4
K_{S4}	Facteur associé à la tension de tenue aux chocs d'un réseau	B.4
L	Longueur de la structure	A.2
L_a	Longueur de la structure connectée à l'extrémité «a» d'un service.....	A.4
L_A	Pertes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur une structure)	6.2; Tableau 8
L_B	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques (impacts sur une structure).....	6.2; Tableau 8
L_C	Longueur de la section du service.....	A.4
L_C	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts sur une structure)	6.2; Tableau 8
L_E	Pertes complémentaires associées aux dommages de structures environnantes.....	C.2, C.5
L_f	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques	C.1
L_M	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts à proximité d'une structure)	6.3; Tableau 8
L_O	Pertes dans une structure dues aux défaillances des réseaux internes	C.1
L_t	Pertes dues aux blessures par choc électrique.....	C.1
L_U	Pertes associées aux blessures d'êtres vivants par choc électrique (impacts sur un service)	6.4; Tableau 8
L_V	Pertes dans la structure relatives aux dommages physiques (impacts sur un service)	6.4; Tableau 8

L_W	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes (impacts sur un service)6.4; Tableau 8
L_X	Pertes consécutives de la structure6.1
L_Z	Pertes associées aux défaillances des réseaux internes dues aux impacts à proximité d'un service.....6.5; Tableau 8
L1	Perte de vie humaine dans une structure4.1.3
L2	Perte de service public dans une structure.....4.1.3
L3	Perte d'héritage culturel dans une structure4.1.3
L4	Pertes de valeurs économiques dans une structure.....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.2.3
N_{da}	Fréquence des événements dangereux dus aux coups de foudre sur une structure à l'extrémité «a» d'un service..... A.2.4; Tableau 8
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.2; C.3; E.2
n_t	Nombre total attendu de personnes (ou d'usagers desservis) dans la structure C.2; C.3
P	Probabilité de dommages 3.1.29 ; 6
P_A	Probabilité de blessures d'êtres vivants (impacts sur une structure)6.2; Tableau 8
P_B	Probabilité de dommages physiques sur une structure (impacts sur une structure)6.2; Tableau 8
P_C	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts sur la structure)6.2; Tableau 8
P_{LD}	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts sur le service connecté) B.5; B.6; B.7
P_{LI}	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts à proximité du service connecté) B.8
P_M	Probabilité de défaillances des réseaux internes (impacts à proximité d'une structure)6.3; Tableau 8
P_{MS}	Probabilité de défaillances des réseaux internes (avec mesures de protection) B.4
P_{EB}	Probabilité de défaillance des réseaux internes ou d'un service avec l'installation de parafoudres B.5; B.6
P_{SPD}	Probabilité de défaillance des réseaux internes avec l'installation de parafoudres coordonnés B.3; B.4; B.7; B.8
P_U	Probabilité de blessures d'êtres vivants (impacts sur le service connecté) 6.4; Tableau 8
P_V	Probabilité de dommages physiques sur une structure (impacts sur le service connecté).....6.4; Tableau 8
P_W	Probabilité de défaillance des réseaux internes (impacts sur le service connecté).....6.4; Tableau 6
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; Tableau 8
r_t	Facteur de réduction associé au type de sol..... C.2
r_f	Facteur de réduction associé au risque d'incendie C.2
r_p	Facteur réduisant les pertes dues aux dispositions contre l'incendie..... C.2
r_u	Facteur de réduction associé au type de plancher C.2
R	Risque 3.1.32 ; 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) 4.3.2
R_F	Risque de dommages physiques sur la structure 4.3.2
R_M	Composante du risque lié aux défaillances des réseaux internes (impacts à proximité de la structure) 4.2.3
R_O	Risque de défaillances des réseaux internes..... 4.3.2
R_s	Résistance d'écran par unité de longueur d'un câble B.5; B.8
R_S	Risque de blessures d'êtres vivants 4.3.2
R_T	Risque tolérable 3.1.34 ; 5.3
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 3.1.33 ; 5.4 ; 5.5
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; 4.3
R_2	Risque de perte de service public dans une structure 4.2.1; 4.3
R_3	Risque de perte d'héritage culturel dans une structure 4.2.1; 4.3
R_4	Risque de pertes de valeur économique dans une structure 4.2.1; 4.3
R'_4	Risque de pertes de valeur économique avec mesures de protectionAnnexe D
S	Structure A.2
S	Economie annuelle en monnaieAnnexe D
S_S	Section d'un service 3.1.36 ; 6.8
$S1$	Source de dommages - Impacts sur une structure 4.1.1
$S2$	Source de dommages - Impacts à proximité d'une structure 4.1.1
$S3$	Source de dommages - Impacts sur un service 4.1.1
$S4$	Source de dommages - Impacts à proximité d'un service..... 4.1.1
t_z	Temps annuel de perte de service, en heures C.3
t_p	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 de tenue aux chocs d'un réseau..... B.4

w	Largeur de maille	B.4
W	Largeur de la structure	A.2
W_a	Largeur de la structure connectée à l'extrémité «a» d'un service	A.4
Z_S	Zones d'une structure	3.1.35 ; 6.7 ; 6.9

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.

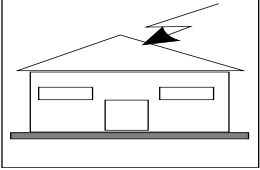
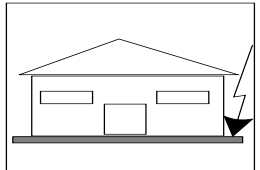
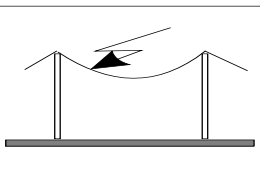
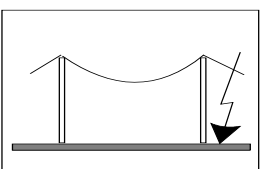
Les dommages à une structure dus à la foudre peuvent être limités à une partie de la structure ou peuvent s'étendre à l'ensemble de celle-ci. Ils peuvent également impliquer les structures environnantes ou l'environnement (par exemple émissions chimiques ou radioactives).

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 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S2	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4
	S4	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4
¹⁾ 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. ²⁾ Seulement dans le cas où des pertes d'animaux peuvent survenir.			

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 les ajoute, 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 être traités au sein du concept de la présente norme.

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 faut également 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 faut également considérer une telle menace.

4.3 Composition des composantes de risque liées à la structure

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 :

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

NOTE 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 :

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

NOTE ²⁾ Seulement pour les propriétés où des pertes éventuelle 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	*	*	*1)	*1)	*	*	*1)	*1)
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* 2)	*	*	*	* 2)	*	*	*

1) 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.

2) 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 dans une structure

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 ¹⁾	X	X ²⁾	X ²⁾	X ¹⁾	X ¹⁾		
Parafoudre d'équipotentialité	X				X	X		
Interfaces d'isolement			X ³⁾	X ³⁾	X	X	X	X
Parafoudres coordonnés			X	X			X	X
Ecran spatial			X	X				
Réseaux externes écrantés					X	X	X	X
Réseaux internes écrantés			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

- 1) En raison des équipotentialités
- 2) Uniquement pour les SPF extérieurs en grille.
- 3) 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 Article 6).

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 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.

NOTE 2 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 administratives pour la structure.

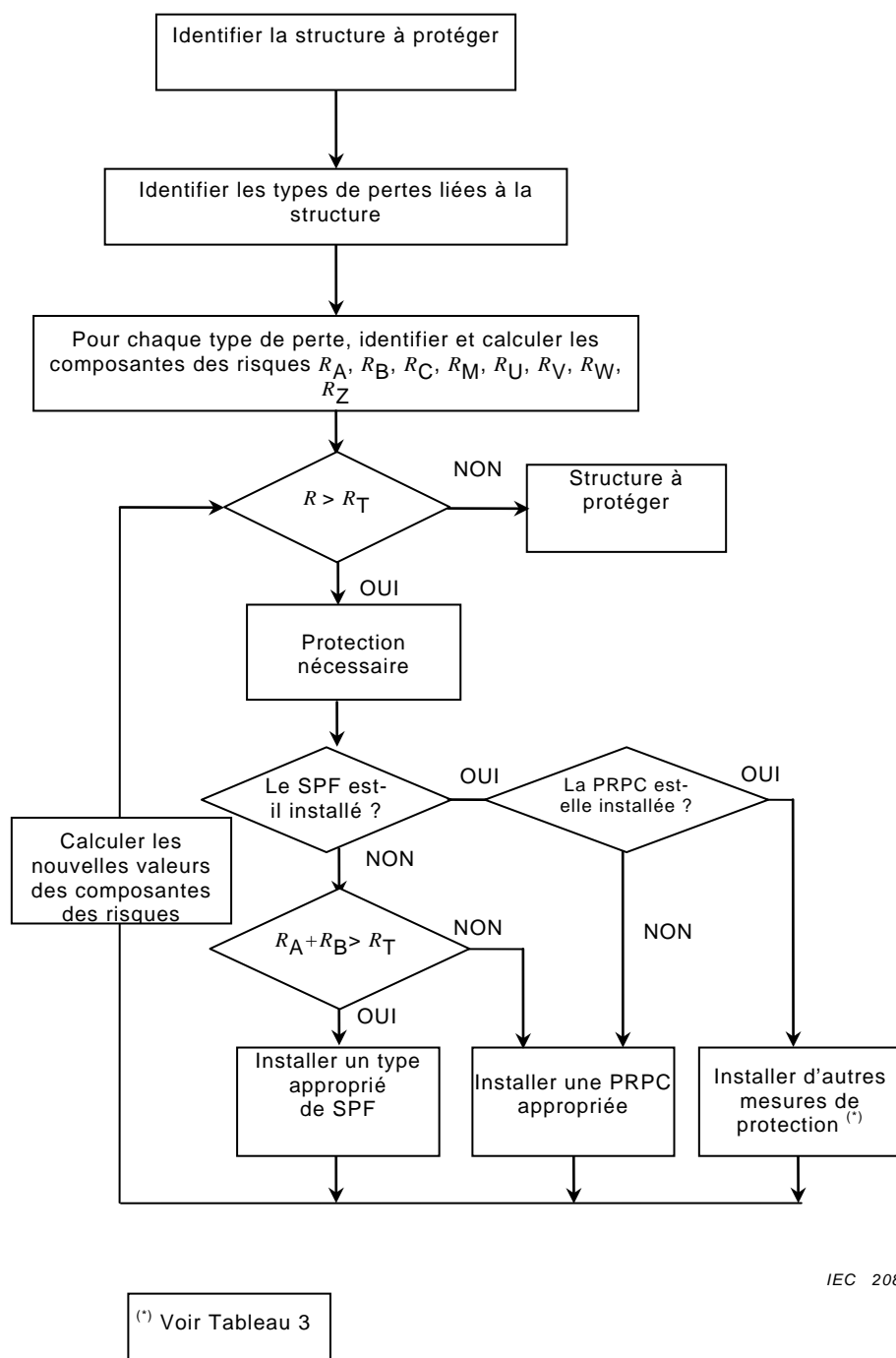


Figure 1 – Procédure pour la décision du besoin de protection et pour le choix des mesures de protection dans des structures

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 L4.

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 :

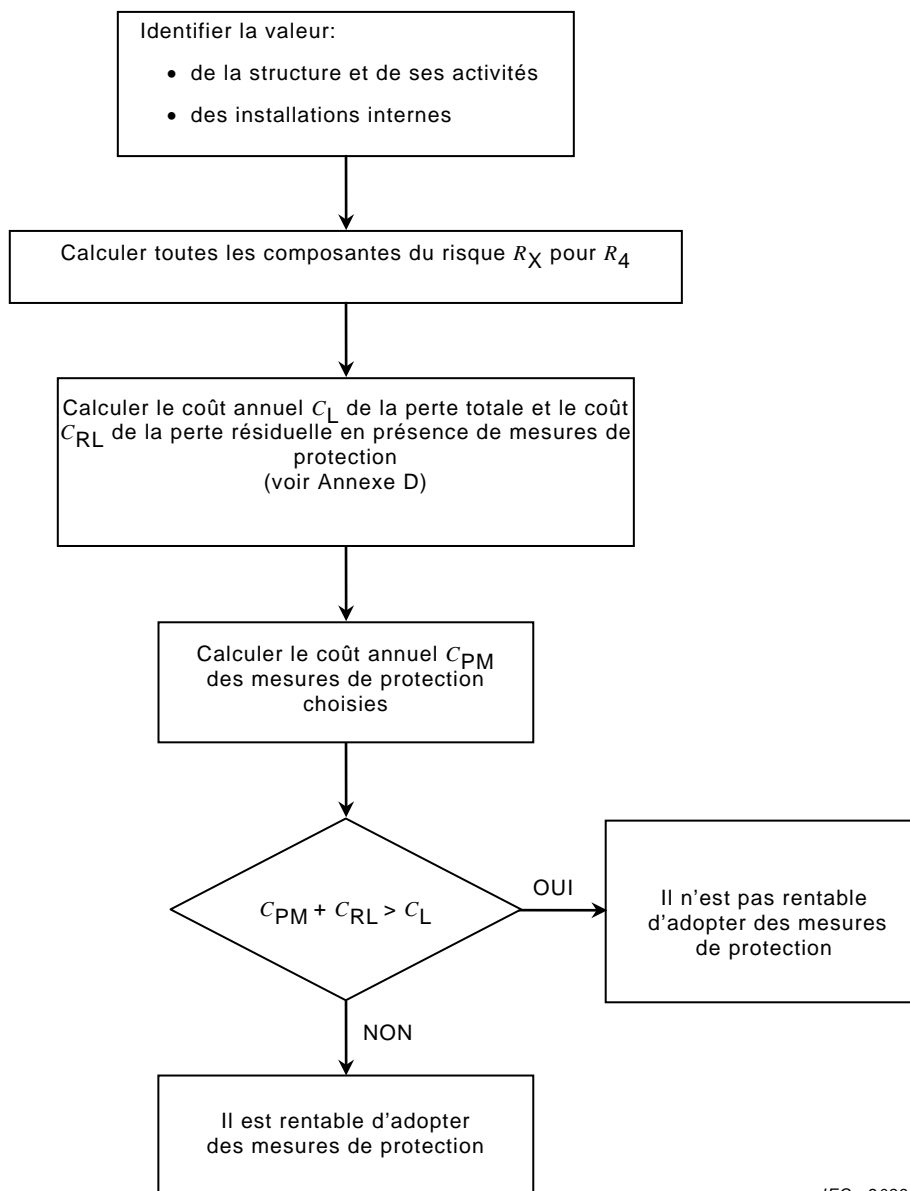
- l'identification des composantes R_X constituant le risque R_4
- le calcul des composantes du risque R_X identifiées, en l'absence de mesures de protection nouvelles ou supplémentaires
- le calcul du coût annuel des pertes dû à chacune des composantes du risque R_X
- le calcul du coût annuel C_L de 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.



IEC 2083/05

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 :

- 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 pour les structures

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 à l'Article 4, 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).

NOTE 1 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.

NOTE 2 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.

NOTE 3 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 4 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)

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

- composantes associées aux dommages physiques (D2)

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

- composantes associées aux défaillances des réseaux internes (D3)

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

NOTE 1 Dans de nombreux cas N_{Da} 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 écrané par rapport au service écrané, 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 pour les structures

Symbole	Dénomination	Valeur selon
Nombre annuel moyen d'événements dangereux dus aux impacts		
N_D	– sur la structure	Article A.2
N_M	– à proximité de la structure	Article A.3
N_L	– sur un service entrant dans la structure	Article A.4
N_I	– à proximité d'un service entrant dans la structure	Article A.5
N_{Da}	– sur la structure à l'extrémité "a" du service (voir Figure A.5)	Article A.2
Probabilité qu'un impact sur la structure causera		
P_A	– des blessures d'êtres vivants	Article B.1
P_B	– des dommages physiques	Article B.2
P_C	– des défaillances des réseaux internes	Article B.3
Probabilité qu'un impact à proximité de la structure causera		
P_M	– des défaillances des réseaux internes	Article B.4
Probabilité qu'un impact sur un service causera		
P_U	– des blessures d'êtres vivants par choc électrique	Article B.5
P_V	– des dommages physiques	Article B.6
P_W	– des défaillances des réseaux internes	Article B.7
Probabilité qu'un impact à proximité d'un service causera		
P_Z	– des défaillances des réseaux internes	Article B.8
Pertes dues à		
$L_A = L_U$	– des blessures d'êtres vivants par choc électrique	Article C.2
$L_B = L_V$	– des dommages physiques	Articles C.2, C.3, C.4, C.5
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	– des défaillances des réseaux internes	Articles C.2, C.3, C.5
NOTE Les valeurs de pertes L_t , L_f , L_o ; et les facteurs r_p , r_a , r_u , r_f réduisant la perte et le facteur h_z augmentant la perte sont indiqués à l'Annexe C et aux Tableaux C.2, C.3, C.4 et C.5.		

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 écranté par rapport au service écranté, service de puissance BT par rapport au service de puissance HT avec transformateur HT/BT, etc.)

6.6 Synthèse des composantes de risque dans une structure

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

Source de dommage 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	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times L_U$	
D2 Dommages physiques	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times L_V$	
D3 Défaillance des réseaux de puissance et de communication	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

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 écrans 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 norme 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_S

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_S . Toutefois, un service peut être une section unique ou être estimé comme tel.

Pour toutes les composantes de risque, les sections S_S 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 (écranté ou non écranté, résistance d'écran).

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

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 .

- 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.

6.9.1 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.

6.9.2 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.

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 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 kérauniques).

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_{Da} sur une structure connectée à l'extrémité "a" d'un service

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).

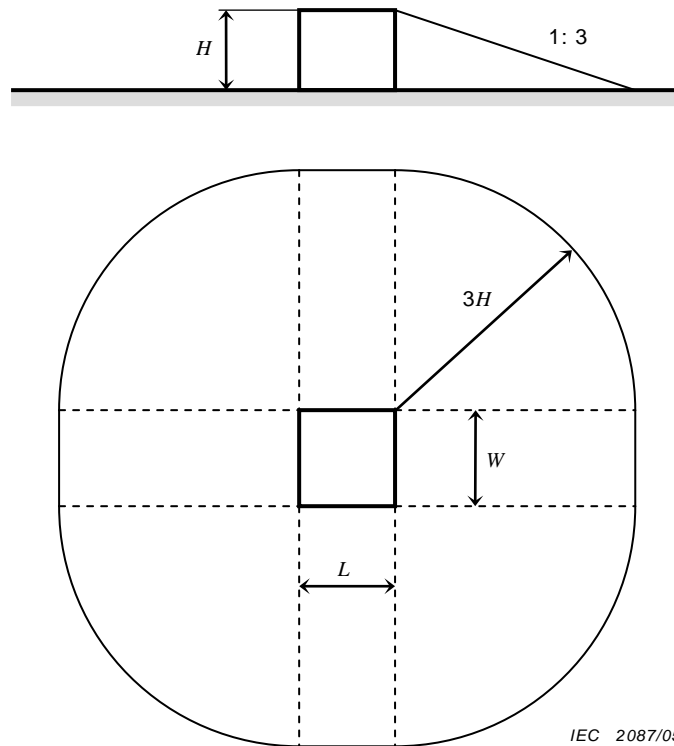


Figure A.1 – Surface équivalente d'exposition A_d d'une structure isolée

A.2.1.2 Structure 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_{dmin} 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 :

$$A_d' = \pi \times (3 \times H_p)^2 \quad (A.3)$$

où H_p est la hauteur de la pointe.

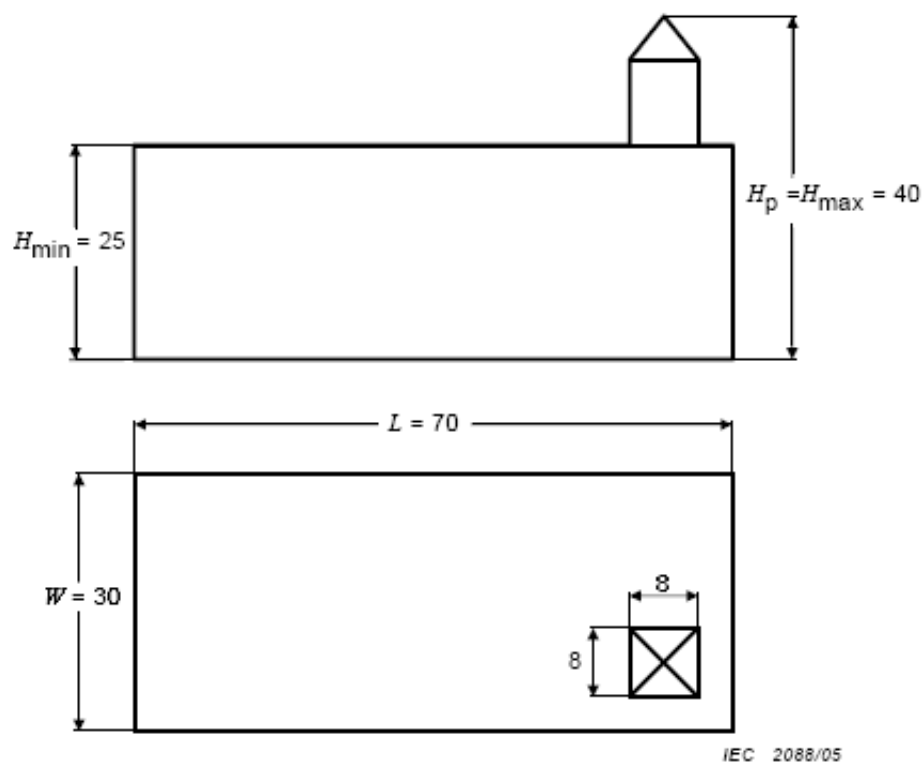
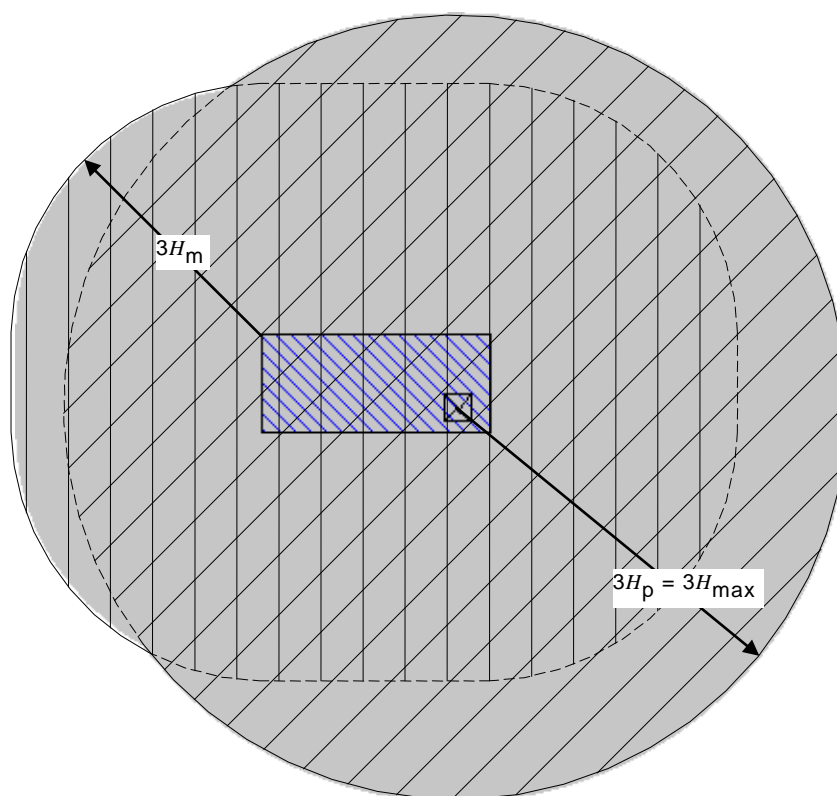


Figure A.2 – Structure de forme complexe

Structure rectangulaire avec $H = H_{\min}$ Formule (A.3)Pointe avec $H = H_p = H_{\max}$ Formule (A.4)

Zone équivalente d'exposition déterminée par la méthode graphique

IEC 2089/05

Figure A.3 – Différentes méthodes de détermination de la zone équivalente d'exposition de la structure concernée

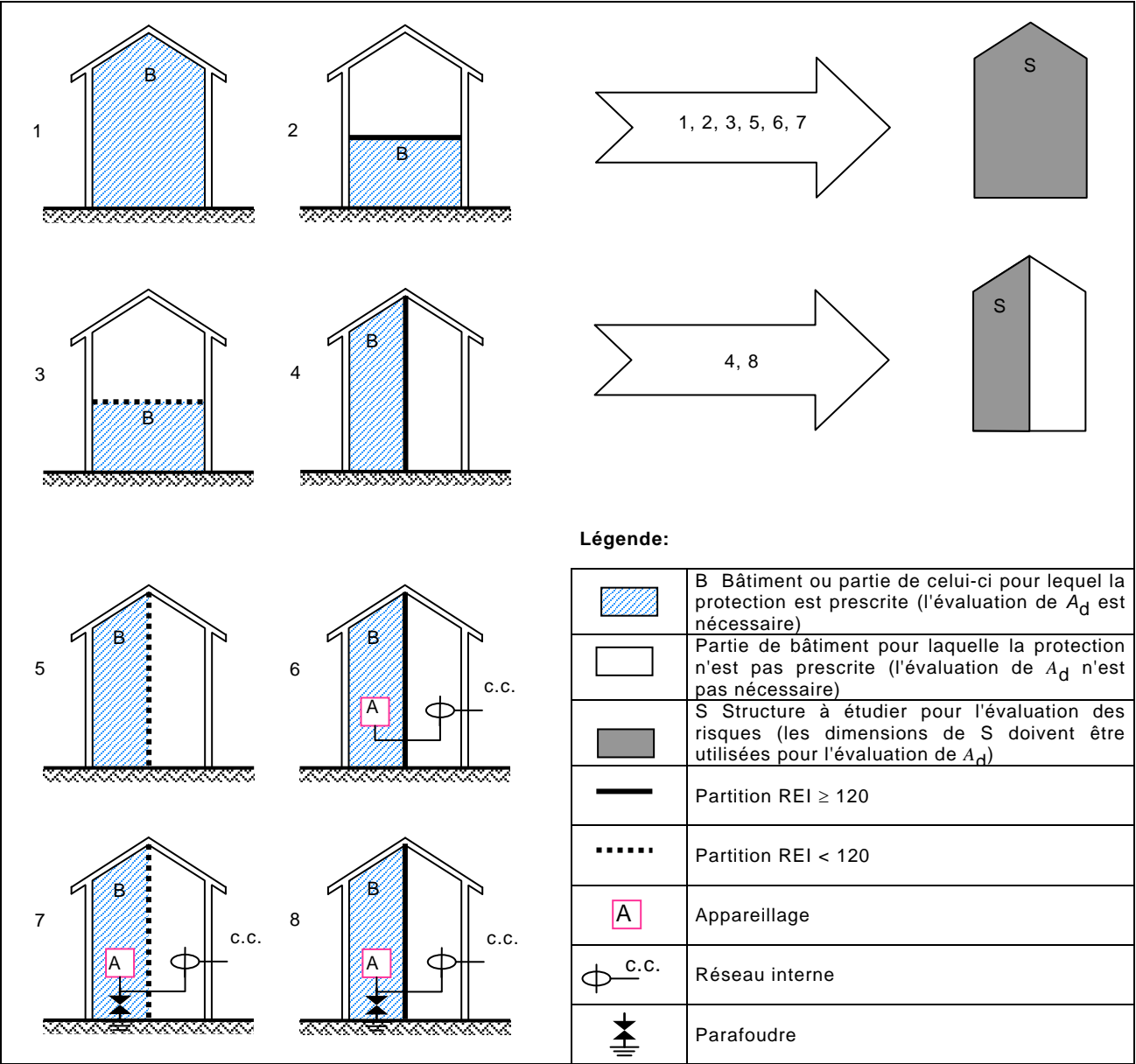
A.2.2 Structure faisant partie d'un bâtiment

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 le Journal Officiel des Communautés Européennes 1994/28/02, n.C 62/63.

Lorsque ces conditions ne sont pas satisfaites, il convient d'utiliser les dimensions de l'ensemble du bâtiment B.



IEC 2090/05

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 $3 \cdot H$ 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 (ou des arbres)	0,25
Structure entourée par des objets (ou des arbres) 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 (extrémité «b» d'un service)

N_D peut être évalué comme le produit :

$$N_D = N_g \times A_{d/b} \times C_{d/b} \times 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

où

N_g est la densité de foudrolement (1//km²/an) ;

$A_{d/b}$ est la surface équivalente d'exposition de la structure (m²) (voir Figure A.5) ;

$C_{d/b}$ est le facteur d'emplacement de la structure à protéger (voir Tableau A.1).

A.2.5 Nombre d'événements dangereux N_{Da} pour une structure adjacente (extrémité «a» d'un service)

Le nombre annuel moyen d'événements dangereux N_{Da} dus à des impacts sur une structure à l'extrémité «a» d'un service (voir 6.5 et Figure A.5) peut être évalué comme le produit :

$$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.5})$$

où

N_g est la densité de foudrolement (1//km²/an) ;

$A_{d/a}$ est la surface équivalente d'exposition de la structure adjacente (m²) (voir Figure A.5) ;

$C_{d/a}$ 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.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 :

$$N_L = N_g \times A_l \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.7})$$

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 :

$$A_l = 40 \times L_c \text{ (m}^2\text{)}; \quad (\text{A.8})$$

L_c est la longueur de la section de service (m).

Lorsque la longueur d'une section de service est inconnue, on estime que $L_c = 1000$ 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 (5.1 de la CEI 62305-4)	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 ¹⁾	0,01
¹⁾ 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.

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

$$N_I = N_g \times A_i \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} \quad (\text{A.9})$$

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 foudrolement (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

$$A_i = 4000 \times L_c \text{ (m}^2\text{)}; \quad (\text{A.10})$$

L_c est la longueur de la section de service (m).

Lorsque la longueur d'une section de service est inconnue, on suppose que $L_c = 1000$ 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 n. 161 et 162, 1995 pour les services de puissance et dans la Recommandation UIT-T K.46 pour les services de communication.

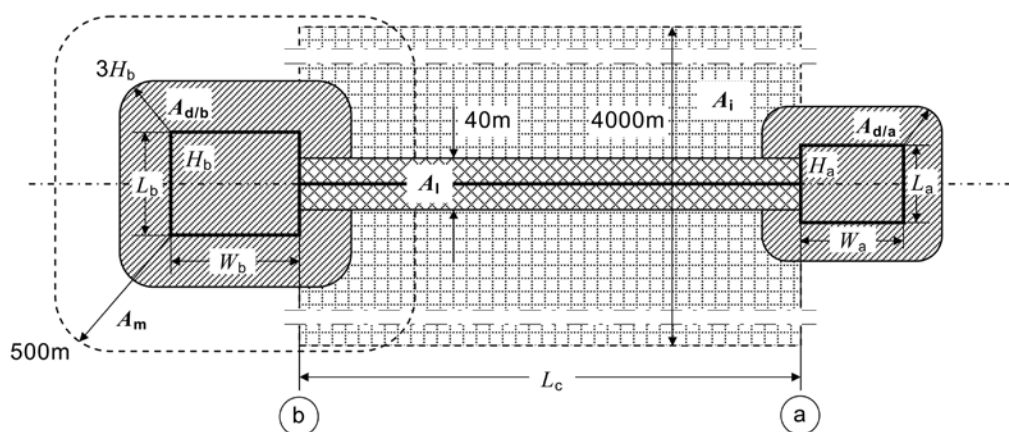


Figure A.5 – Surfaces équivalentes d'exposition (A_d , A_m , A_i , A_l)

Annexe B (informative)

Evaluation de la probabilité de dommages P_X d'une structure

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.1 Probabilité P_A pour qu'un impact sur la structure entraîne des blessures d'êtres vivants

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.

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

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 ²⁾	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 parafoudre 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 Si les armatures ou les entourages sont utilisés comme conducteurs de descente, ou si des restrictions physiques sont présentes, on peut supposer que $P_{TA} = 0$.

NOTE 3 Pour plus d'informations, voir 8.1 et 8.2 de la CEI 62305-3.

B.2 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 NPF	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 NPF 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.3 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 est donnée par :

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

Les valeurs de P_{SPD} 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_{SPD} en fonction des niveaux de protection contre la foudre pour lesquels le parafoudre est conçu

Niveau de protection	P_{SPD}
----------------------	-----------

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_{SPD} 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 (réf. CEI 62305-1 Tableau A.3 pour des informations sur les probabilités de courant de foudre et CEI 62305-4 Annexe D pour le partage du courant de foudre). Les mêmes annexes peuvent être utilisées pour des parafoudres ayant des probabilités supérieures P_{SPD} .

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 externe	Connexion à l'entrée	C_{LD}	C_{LI}
Service aérien non écranté	Non définie	1	1
Service enterré non écranté	Non définie	1	1
Service de puissance à neutre mis à la terre en plusieurs emplacements	Aucun	1	0,2
Service enterré écranté (de puissance ou de communication)	Écran non relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0,2
Service aérien écranté (de puissance ou de communication)	Écran non relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0,02
Service enterré écranté (de puissance ou de communication)	Écran relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté	1	0
Service aérien écranté (de puissance ou de communication)	Écran 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	Écran 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	0	0

NOTE 3 Pour l'évaluation de la probabilité P_C , des réseaux internes non écrantés, il convient de supposer que $C_{LD} = 1$

NOTE 4 Pour les réseaux internes non écrantés

- 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, Annexe A.

B.4 Probabilité P_M pour qu'un impact à proximité d'une structure entraîne des défaillances des réseaux internes

Un SPF en grille, des écrans, 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 PRPC 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 :

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

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 $P_{MS} = 1$.

Les valeurs de P_{MS} sont obtenues à partir du produit :

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

où

K_{S1} prend en compte l'efficacité de l'écran 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 de l'écran de limite au moins égale à la taille de la maille w , les facteurs K_{S1} et K_{S2} pour le SPF ou pour les écrans spatiaux en grille peuvent être évalués comme suit :

$$K_{S1} = 0,12 \times w_1 \quad (B.5)$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_2 \quad (B.6)$$

où w_1 (m) et w_2 (m) sont les largeurs de la maille de l'écran spatial en grille 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 de 0,1 mm à 0,5 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 écrantés 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 à 0,2 w, 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 écranté – Pas de précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ¹⁾	1
Câble non écranté – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles de grande taille ²⁾	0,2
Câble non écranté – Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ³⁾	0,01
¹⁾ Boucles avec différents cheminements dans de grands bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 50 m ²) ²⁾ Boucles dans le même conduit ou boucles avec différents cheminements dans de petits bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 10 m ²). ³⁾ Boucles dans le même câble (surface de boucle de l'ordre de 0,5 m ²).	

Pour des câbles écrantés et des câbles cheminant dans des conduits métalliques, il convient de supposer que $K_{S3} = 10^{-4}$, à condition que les écrans 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.5 Probabilité P_U pour qu'un impact sur un service entraîne des blessures d'êtres vivants

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 écrans 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 :

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

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 (réf. CEI 62305-1 Tableau A.3 pour des informations sur les probabilités de courant de foudre et CEI 62305-4 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 de l'écran 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 ou Services de communication	Service aérien ou enterré, non écrané ou écrané, dont l'écran n'est pas relié à la borne d'équipotentialité à laquelle le matériel est connecté		1	1	1	1	1
	Aérien ou enterré écrané dont l'écran 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 4 Dans la zone suburbaine/urbaine, le service de puissance BT utilise généralement un câble non écrané enterré tandis que le service de communication utilise un câble écrané enterré (avec un minimum de 20 conducteurs, résistance d'écran $5\Omega/\text{km}$, diamètre du fil de cuivre : 0,6 mm). Dans la zone rurale, le service de puissance BT utilise un câble non écrané aérien tandis que le service de communication utilise un câble non écrané aérien (diamètre du fil de cuivre : 1 mm). Le service de puissance HT enterré utilise généralement un câble écrané de résistance d'écran de l'ordre de 1 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.6 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 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 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 :

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

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.7 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 :

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

où

P_{SPD} 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_{SPD} 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.8 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 écrans 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 :

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

où

P_{SPD} 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_{SPD} sont données dans le Tableau B.3.

P_{LI} 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_{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 [11] – Valeur 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} pour les services de communication sont données dans la Recommandation UIT-T K.46.

Annexe C (informative)

Evaluation du montant des pertes L_x dans une structure

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.1 Montant relatif moyen des pertes annuelles

Les pertes L_x se réfèrent au montant relatif moyen d'un type particulier de dommage, 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 (L_1 , L_2 , L_3 et L_4) considérée et, pour chaque type de perte, selon le type de dommage (D_1 , D_2 et D_3) à l'origine. Les symboles suivants sont utilisés :

L_t pertes dues aux blessures par choc électrique (D_1) ;

L_f pertes dues aux dommages physiques (D_2) ;

L_o pertes dues aux défaillances des réseaux internes (D_3).

Ces trois valeurs de pertes varient en fonction de chacun des quatre types de pertes ci-dessous :

L_1 (Perte de vie humaine, y compris les blessures permanentes) : le nombre de personnes en danger (victimes) ;

L_2 (Perte de service public) : le nombre d'utilisateurs non desservis ;

L_3 (Perte d'héritage culturel) : la valeur économique en danger de la structure et son contenu ;

L_4 (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.

Il convient de déterminer la perte L_x pour chaque zone divisant la structure.

C.2 Perte de vie humaine (L_1)

La valeur de L_t , L_f et L_o peut être déterminée en termes de nombre relatif moyen de victimes blessées du fait d'un événement dangereux. Les valeurs des pertes pour différents types de structures ou zones d'une structure sont données dans le Tableau C.1.

NOTE Les valeurs du Tableau C.1 font référence à la présence continue de personnes dans la structure.

Tableau C.1 – Type de perte L_1 : 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
		$5 \cdot 10^{-2}$	Publique de loisir, église, musée
		$2 \cdot 10^{-2}$	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 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.

Les valeurs des pertes finales pour chaque zone peuvent être déterminées 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 8760 heures annuelles totales, elle réduit également la perte.

Type de dommage	Perte typique	Formule
D1	$L_A = r_t \cdot L_t \cdot n_z / n_t \cdot t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \cdot L_t \cdot n_z / n_t \cdot t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_t \cdot n_z / n_t \cdot t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \cdot n_z / n_t \cdot t_z / 8760$	(C.4)

où

r_t est un facteur de réduction des pertes en vies humaines en fonction du type de sol ou de plancher (voir Tableau C.2)

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.3) ;

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.4) ;

h_z est un facteur d'augmentation des pertes dues aux dommages physiques en présence d'un danger spécifique (voir Tableau C.5) .

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 – Valeurs du facteur de réduction r_t en fonction du type de surface du sol ou du plancher

Type de surface	Résistance de contact $k\Omega^1$	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}
1) Valeurs mesurées entre une électrode de 400 cm ² comprimée avec une force uniforme de 500 N à un point à l'infini.		
2) 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.3 – Valeurs du 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 ¹⁾	0,2
¹⁾ Seulement si elles sont protégées contre les surtensions ou d'autres dommages et si le temps d'intervention des pompiers est $t < 10$ 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.4 – Valeurs du facteur de réduction r_f en fonction du risque d'incendie ou d'explosion de la structure

Risque	Niveau de risque	r_f
Explosion	Zone 0, 20 et explosif massif	1
	Zone 1, 21	10^{-1}
	Zone 2, 22	10^{-3}
Incendie	Elevé	10^{-1}
	Ordinaire	10^{-2}
	Faible	10^{-3}
Explosion ou incendie	Aucun	0

NOTE 1 Dans le cas d'une structure présentant un risque d'explosion, une évaluation plus détaillée de r_f peut être nécessaire.

NOTE 2 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 3 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 4 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 5 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 6 Pour les besoins de la présente norme, 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 heure/an ;
- b) le volume d'atmosphère explosive est négligeable conformément à la CEI 60079-10 ;
- c) la zone ne peut être frappée directement par un éclair et les étincelles dangereuses dans la zone sont évitées.

NOTE 7 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.5 – Valeurs du 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

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_{XT}) :

$$L_{XT} = L_X + L_E \quad (\text{C.1})$$

où :

$$L_E = L_{fe} \cdot t_e / 8760$$

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 1 Si les valeurs de L_{fe} et t_e sont inconnues, il convient de supposer que $L_{fe} \cdot t_e / 8760 = 1$.

C.3 Pertes inacceptables de service public (L2)

Les valeurs de L_f et L_o sont déterminées en nombres relatifs moyens types d'usagers non desservis du fait d'un événement dangereux. Les valeurs des pertes pour différents types de services sont données dans le Tableau C.6.

Tableau C.6 – 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

Les valeurs des pertes finales pour chaque zone d'une structure peuvent être déterminées 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.

Type de dommage	Perte typique	Formule
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot n_z / n_t$	(C.2)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \cdot n_z / n_t$	(C.3)

où :

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.3) ;

r_f est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant du risque d'incendie (voir Tableau C.4) ;

n_z est le nombre d'utilisateurs desservis par la zone ;

n_t est le nombre total d'utilisateurs desservis par la structure.

C.4 Perte d'héritage culturel irremplaçable (L3)

La valeur de L_f est déterminée comme la valeur relative moyenne type de tous les biens endommagés du fait d'un événement dangereux. Les valeurs des pertes pour différents types de structures ou zones sont données dans le Tableau C.7.

Tableau C.7 – 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

Les valeurs des pertes finales pour chaque zone peuvent être déterminées 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).

Type de dommage	Valeur de perte typique	Formule
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot c_z / c_t$	(C.4)

où :

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.3) ;

r_f est un facteur de réduction de la perte due aux dommages physiques dépendant du risque d'incendie (voir Tableau C.4) ;

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).

C.5 Pertes économiques (L4)

Les valeurs de L_t , L_f et L_o sont déterminées comme les valeurs relatives moyennes types de tous les biens endommagés par un événement dangereux. Les valeurs des pertes pour différents types de structures ou zones sont données dans le Tableau C.8.

Tableau C.8 – 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}	Tout type
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 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.

Les valeurs des pertes finales pour chaque zone de la structure peuvent être déterminées 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_i).
- 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 (v_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)

Type de dommage	Perte typique	Formule
D1	$L_A = r_t \cdot L_t \cdot c_A / c_t$	(C.5)
D1	$L_U = r_t \cdot L_t \cdot c_A / c_t$	(C.6)
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_i \cdot L_f \cdot (c_A + c_B + c_C + c_S) / c_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \cdot c_S / c_t$	(C.8)

où :

r_t est un facteur de réduction de la perte d'animaux dépendant du type de sol ou de plancher (voir Tableau C.2) ;

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.3) ;

r_i 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.4) ;

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).

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_{XT}) :

$$L_{XT} = L_X + L_E \quad (C.2)$$

où :

$$L_E = L_{fe} \cdot c_e / c_t$$

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 1 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 :

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

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 en monnaie est :

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

La protection est appropriée si l'économie annuelle $S > 0$.

Annexe E (informative)

Etude de cas de structures

Dans cette annexe, 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 norme. Elle n'est pas destinée à traiter de toutes les conditions existantes dans divers bâtiments et réseaux.

E.1 Maison rurale

La première étude de cas concerne une maison rurale (Figure E.1).

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). 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 (L4) n'est pas pris en compte.

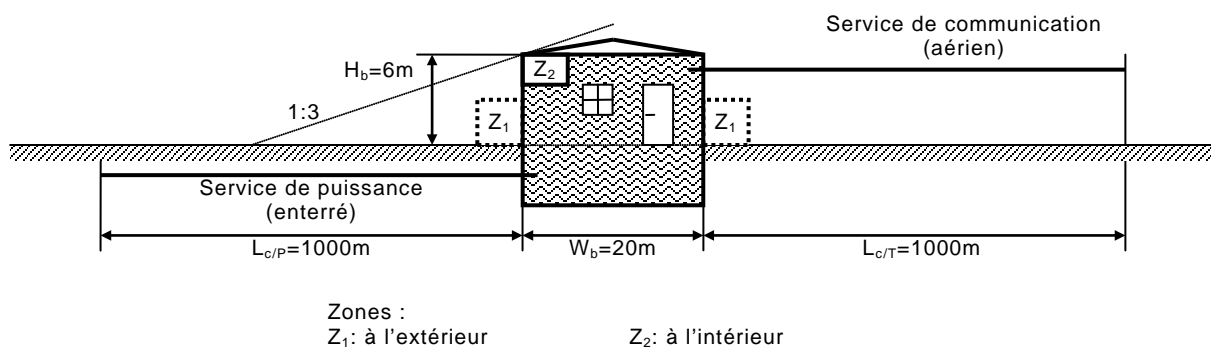


Figure E.1 – Maison rurale

E.1.1 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.1.1.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.1.2 et pour le service de communication dans le Tableau E.1.3.

Tableau E.1.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Densité de foudrolement (1/km ² /an)		N_g	4,0	
Dimensions de la structure (m)		L_b, W_b, H_b	15,20,6	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	$C_{d/b}$	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	(B.5)

Tableau E.1.2 – Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m) ^(*)		L_c	1000	
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 écranté	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	(B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

^(*) Correspondant à la longueur L_c de la section de service inconnue, on suppose que $L_c = 1000$ m (Articles A.4 et A.5)

Tableau E.1.3 – Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m) ^(*)		L_c	1000 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 écranté	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	(B.7)

		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

(*) Correspondant à la longueur L_c de la section de service inconnue, on suppose que $L_c = 1000$ m (Articles A.4 et A.5)

E.1.2 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 d'écrans 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.1.4.

Tableau E.1.4 – 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.2
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.4
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écrané (boucles de grande taille > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
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.1
		D2: due aux dommages physiques	L_f	10^{-1}	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 5/5 \cdot 8760/8760$	-	1	
			L_A	10^{-7}	Formule C.1

	Paramètres résultants	L_U	10^{-7}	Formule C.2
		L_B	10^{-4}	Formule C.3
		L_V	10^{-4}	Formule C.3

E.1.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs des surfaces équivalentes d'exposition sont présentés au Tableau E.1.5 et les nombres prévisibles d'événements dangereux sont donnés au Tableau E.1.6.

Tableau E.1.5 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence	Formule
Structure	A_d	$2,58 \cdot 10^3$	(A.2)	$A_d = L_b \cdot W_b + 2 \cdot (3 H_b) \cdot (L_b + W_b) + \pi \cdot (3 H_b)^2$
	A_m	-	A.3	Non applicable
Service de puissance	$A_{I/P}$	$4,00 \cdot 10^4$	(A.8)	$A_{I/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{I/P}$	$4,00 \cdot 10^6$	(A.10)	$A_{I/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/P}$	0	(A.2)	$A_{da/P} = L_a \cdot W_a + 2 \cdot (3 H_a) \cdot (L_a + W_a) + \pi \cdot (3 H_a)^2$
Service de communication	$A_{I/T}$	$4,00 \cdot 10^4$	(A.8)	$A_{I/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{I/T}$	$4,00 \cdot 10^6$	(A.10)	$A_{I/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/T}$	0	(A.2)	$A_{da/T} = L_a \cdot W_a + 2 \cdot (3 H_a) \cdot (L_a + W_a) + \pi \cdot (3 H_a)^2$

Tableau E.1.6 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence	Formule
Structure	N_D	$1,03 \cdot 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_{d/b} \cdot 10^{-6}$
	N_M	-	(A.6)	Non applicable
Service de puissance	$N_{L/P}$	$8,00 \cdot 10^{-2}$	(A.7)	$N_{L/P} = N_g \cdot A_{I/P} \cdot C_{I/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{U/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8,00	(A.9)	$N_{I/P} = N_g \cdot A_{I/P} \cdot C_{I/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{U/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{Da/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$1,60 \cdot 10^{-1}$	(A.7)	$N_{L/T} = N_g \cdot A_{I/T} \cdot C_{I/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{U/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.9)	$N_{I/T} = N_g \cdot A_{I/T} \cdot C_{I/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{U/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{Da/T}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente

E.1.4 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.1.7**

Tableau E.1.7 – Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs x 10^{-5})

	Symbole	Z_1	Z_2	Structure
D1 Blessure	R_A	-	0,0001	0,0001
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,0024	0,0024

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 $R_1 = 2,51 \cdot 10^{-5}$ est supérieur à la valeur tolérable $R_T = 10^{-5}$, une protection contre la foudre de la structure est exigée.

E.1.5 Risque R_1 - Choix des mesures de protection

D'après le Tableau E.1.7, 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 :

- a) 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 ;
- b) 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.1.8.

Tableau E.1.8 – Valeurs des composantes de risque relatives au risque R_1 pour les cas adaptés

	Symbole	Résultat du cas a) $\times(10^{-5})$	Résultat du cas b) $\times(10^{-5})$
Structure	R_B	0,103	0,021
Services	R_U	≈ 0	≈ 0
	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.

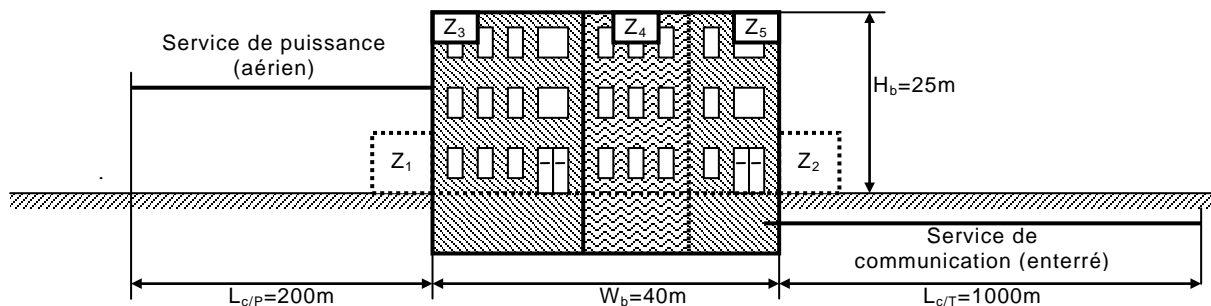
E.2 Bâtiment de bureaux

La deuxième étude de cas concerne un immeuble de bureaux comportant des archives, des bureaux et un centre informatique (Figure B.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). D'autres mesures de protection adaptées pour diminuer ce risque sont choisies. Les mesures de protection possibles 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 (L4) n'est pas pris en compte.



Zones :

Z_1 : entrée (à l'extérieur) Z_2 : jardin (à l'extérieur) Z_3 : archives Z_4 : bureaux Z_5 : centre informatique

Figure E.2 – Bâtiment de bureaux

E.2.1 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 km^2 par an.

Les données relatives au bâtiment et à son environnement sont données dans le Tableau E.2.1.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.2.2 et pour le service de communication dans le Tableau E.2.3.

Tableau E.2.1 – Caractéristiques de l'environnement et de la structure

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)		L_b, W_b, H_b	20,40,25	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	$C_{d/b}$	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	(B.5)

Tableau E.2.2 – Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
--------------------	-------------	---------	--------	-----------

Longueur (m)		L_c	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 (Q/km)	Non écrané	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	(B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.2.3 – Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_c	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 (Q/km)	Non écrané	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	(B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.2.2 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 d'écrans 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.2.4. Ces valeurs sont ensuite utilisées pour subdiviser les valeurs des pertes totales en fractions pour chaque zone.

Tableau E.2.4 – Distribution des personnes dans les zones

Zone	Nombre de personnes	Durée de présence
Z₁ (entrée à l'extérieur)	4	8.760
Z₂ (jardin à l'extérieur)	2	8.760
Z₃ (archives)	20	8.760
Z₄ (bureaux)	160	8.760
Z₅ (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),
- $L_i = 10^{-2}$ (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.2.5 à E.2.9.

Tableau E.2.5 – 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.2
Protection contre les chocs	Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_i	0	Tableau C.4
Protection contre l'incendie	Aucun	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	(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.1
	D2: due aux dommages physiques	L_f	-	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 4/200 \cdot 8760/8760$	-	0,02	

Tableau E.2.6 – Facteurs valables pour la zone Z₂ (jardin)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de sol	Herbe	r_t	10^{-2}	Tableau C.2
Protection contre les chocs	Clôture	P_{TA}	0	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_f	0	Tableau C.4
Protection contre l'incendie	Aucun	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	(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.1
	D2: due aux dommages physiques	L_f	-	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 2/200 \cdot 8760/8760$	-	0,01	

Tableau E.2.7 – Facteurs valables pour la zone Z₃ (archives)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.2
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		élevé	r_f	10^{-1}	Tableau C.4
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écrané (boucles de grande taille > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : faible panique	h_z	2	Tableau C.5
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,02	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 20/200 \cdot 8760/8760$	-	0,10	

Tableau E.2.8 – Facteurs valables pour la zone Z₄ (bureaux)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher	Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.2
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.4
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écranté (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écranté (boucles de grande taille > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : faible panique	h_z	2	Tableau C.5
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,02	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 160/200 \cdot 8760/8760$	-	0,80	

Tableau E.2.9 – Facteurs valables pour la zone Z₅ (centre informatique)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.2
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.4
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écranté (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écranté (boucles de grande taille > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : faible panique	h_z	2	Tableau C.5
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,02	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	-	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 14/200 \cdot 8760/8760$	-	0,07	

E.2.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs des surfaces équivalentes d'exposition sont présentés au Tableau E.2.10, les calculs des nombres prévisibles d'événements dangereux sont donnés au Tableau E.2.11.

Tableau E.2.10 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence	Formule
Structure	A_d	$2,75 \cdot 10^4$	(A.2)	$A_d = L_b \cdot W_b + 2 \cdot (3H_b) \cdot (L_b + W_b) + \pi \cdot (3H_b)^2$
	A_m	-	A.3	Non applicable
Service de puissance	$A_{I/P}$	$8,00 \cdot 10^3$	(A.8)	$A_{I/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{I/P}$	$8,00 \cdot 10^5$	(A.10)	$A_{I/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/P}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$A_{I/T}$	$4,00 \cdot 10^4$	(A.8)	$A_{I/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{I/T}$	$4,00 \cdot 10^6$	(A.10)	$A_{I/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/T}$	0	(A.2)	Pas de structure adjacente

Tableau E.2.11 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence	Formule
Structure	N_D	$1,11 \cdot 10^{-1}$	(A.4)	$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_{d/b} \cdot 10^{-6}$
	N_M	-	(A.6)	Non applicable
Service de puissance	$N_{L/P}$	$3,20 \cdot 10^{-2}$	(A.7)	$N_{L/P} = N_g \cdot A_{I/P} \cdot C_{I/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{U/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	3,20	(A.9)	$N_{I/P} = N_g \cdot A_{I/P} \cdot C_{I/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{U/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{Da/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$8,00 \cdot 10^{-2}$	(A.7)	$N_{L/T} = N_g \cdot A_{I/T} \cdot C_{I/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{U/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	8,00	(A.9)	$N_{I/T} = N_g \cdot A_{I/T} \cdot C_{I/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{U/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{Da/T}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente

E.2.4 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.2.12.

Tableau E.2.12 - Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs x 10^{-5})

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Structure
D1 Blessure	R_A	0,002	0,011	0,00011	0,00088	≈ 0	0,014
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$			≈ 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	0,011	8,876	0,712	0,062	$R_1 = 9,66$
Tolérable		$R_1 > R_T$: Besoin de protection contre la foudre					$R_T = 1$

Du fait que $R_1 = 9,66 \cdot 10^{-5}$ 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

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.2.12).

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.2.12 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.2.13.

Tableau E.2.13 – Risque R_1 pour la structure protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)

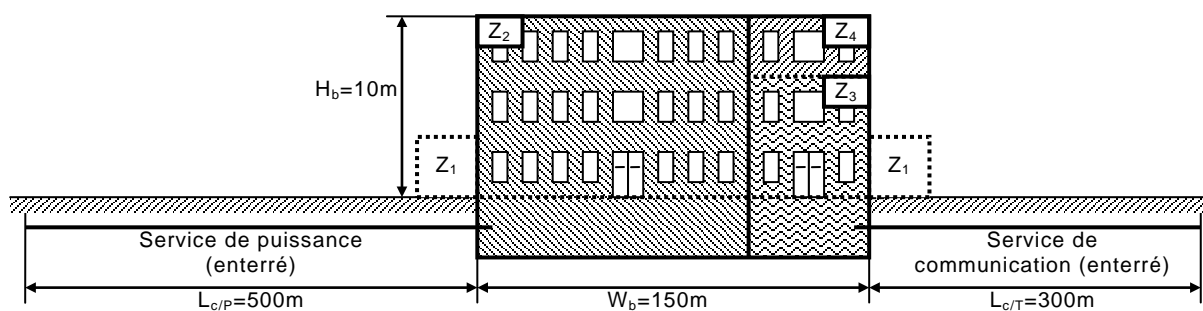
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Total	Tolérable	Résultat
Solution a)	≈ 0	0,001	0,664	0,053	0,005	$R_1=0,723$	$R_T=1$	$R_1 \leq R_T$
Solution b)	≈ 0	0,002	0,552	0,089	0,008	$R_1=0,650$	$R_T=1$	$R_1 \leq R_T$

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.3 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.



Zones :

Z₁: à l'extérieurZ₂: bloc chambresZ₃: bloc opératoireZ₄: unité de soins intensifs**Figure E.3 - Hôpital****E.3.1 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.3.1.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.3.2 et pour le service de communication dans le Tableau E.3.3.

Tableau E.3.1 – 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)		L_b, W_b, H_b	50,150,10	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	$C_{d/b}$	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	(B.5)

Tableau E.3.2 – Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_c	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 (A/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_a, W_a, H_a	-	

Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	(B.7)
		P_{LD}	0,2	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.3.3 – Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_c	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 (V/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_a, W_a, H_a	20,30,5	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Structure isolée	$C_{d/a}$	1	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	(B.7)
		P_{LD}	0,8	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.3.2 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 d'écrans 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 1000 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.3.4. Ces valeurs sont ensuite utilisées pour subdiviser les valeurs des pertes totales en fractions pour chaque zone.

Tableau E.3.4 – Distribution des personnes et valeurs économiques dans les zones

Zone	Nombre de personnes	Durée de présence	Valeurs économiques en \$ x 10 ⁶				
			Animaux c_A	Bâtiment c_B	Contenu c_C	Réseaux internes c_S	Total
Z₁ (à l'extérieur du bâtiment)	10	8.760	-	-	-	-	-
Z₂ (bloc chambres)	950	8.760	-	70	6	3,5	79,5
Z₃ (bloc opératoire)	35	8.760	-	2	0,9	5,5	8,4
Z₄ (unité de soins intensifs)	5	8.760	-	1	0,1	1,0	2,1
Total	$n_t = 1000$	-	0	73	7	10	$c_t = 90,0$

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.1 et le facteur croissant pour les dangers particuliers selon le Tableau C.5 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,
- $L_t = 10^{-1}$ 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
- $L_o = 10^{-2}$ 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.8 sont :

- $L_t = 0$ pas d'animaux mis en danger
- $L_t = 0,5$ 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.8) à (C.11) 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.3.5 à E.3.8.

Tableau E.3.5 – Facteurs valables pour la zone Z₁ (à l'extérieur du bâtiment)

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de sol	Béton	r_t	10^{-2}	Tableau C.2
Protection contre les chocs	Aucune	P_{TA}	1	Tableau B.1
Risque d'incendie	Aucun	r_f	0	Tableau C.4
Protection contre l'incendie	Aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne	Aucun	K_{S2}	1	(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.1
	D2: due aux dommages physiques	L_f	0	
	D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	0	
Facteur relatif aux personnes en danger	$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 10/1000 \cdot 8760/8760$	-	0,01	

Tableau E.3.6 – 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.2
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.4
Protection contre l'incendie		Aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		Aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écranté (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écranté (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.5
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
		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		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 950/1000 \cdot 8760/8760$	-	0,95	
L4 : Perte économique		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,5	Tableau C.8
		D2: Facteur $(c_A+c_B+c_C+c_S)/c_i=79,5/90$	-	0,883	
		D3: due aux défaillances de réseaux internes	L_o	10^{-2}	
		D3: Facteur $c_S/c_i=3,5/90$	-	0,039	

Tableau E.3.7 – 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.2
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.4
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Service de puissance	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Service de communication	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.5
		D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
		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		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 35/1000 \cdot 8760/8760$	-	0,035	
L4 : Perte économique		D2: due aux dommages physiques	L_f	0,5	Tableau C.8
		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.3.8 – Facteurs valables pour la zone Z₄ (unité de soins intensifs)

Paramètre d'entrée		Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Type de plancher		Linoléum	r_t	10^{-5}	Tableau C.2
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.4
Protection contre l'incendie		aucune	r_p	1	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Service de puissance	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Service de communication	Câblage interne	Non écrané (boucles dans le même câble)	K_{S3}	0,01	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
L1 : Perte de vie humaine		Danger particulier : difficulté d'évacuation	h_z	5	Tableau C.5

	D1: due aux tensions de contact et de pas	L_t	10^{-2}	Tableau C.1
	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	$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 5/1000 \cdot 8760/8760$	-	0,005	
L4 : Perte économique	D2: due aux dommages physiques	L_f	0,5	Tableau C.8
	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.3.3 Calcul des grandeurs correspondantes

Les calculs sont donnés dans le Tableau E.3.9 pour les surfaces équivalentes d'exposition et dans le Tableau E.3.10 pour le nombre prévisible d'événements dangereux.

Tableau E.3.9 – Surfaces équivalentes d'exposition de la structure et des services

	Symbole	Résultat m ²	Référence	Formule
Structure	A_d	$2,23 \cdot 10^4$	(A.2)	$A_d = L_b \cdot W_b + 2 \cdot (3H_b) \cdot (L_b + W_b) + \pi \cdot (3H_b)^2$
	A_m	$9,93 \cdot 10^5$	A.3	$A_m = L_b \cdot W_b + 2 \cdot 500 \cdot (L_b + W_b) + \pi \cdot 500^2$
Service de puissance	$A_{i/P}$	$2,00 \cdot 10^4$	(A.8)	$A_{i/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{i/P}$	$2,00 \cdot 10^6$	(A.10)	$A_{i/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/P}$	0	(A.2)	$A_{da/P} = L_a \cdot W_a + 2 \cdot (3H_a) \cdot (L_a + W_a) + \pi \cdot (3H_a)^2$
Service de communication	$A_{i/T}$	$1,20 \cdot 10^4$	(A.8)	$A_{i/P} = 40 \cdot L_c$
	$A_{i/T}$	$1,20 \cdot 10^6$	(A.10)	$A_{i/P} = 4000 \cdot L_c$
	$A_{da/T}$	$2,81 \cdot 10^3$	(A.2)	$A_{da/T} = L_a \cdot W_a + 2 \cdot (3H_a) \cdot (L_a + W_a) + \pi \cdot (3H_a)^2$

Tableau E.3.10 – Nombre annuel prévisible d'événements dangereux

	Symbole	Résultat 1/an	Référence	Formule
Structure	N_D	$8,93 \cdot 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_{d/b} \cdot 10^{-6}$
	N_M	3,97	(A.6)	$N_M = N_g \cdot A_m \cdot 10^{-6}$
Service de puissance	$N_{L/P}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$	(A.7)	$N_{L/P} = N_g \cdot A_{i/P} \cdot C_{i/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{u/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{i/P}$	$4,00 \cdot 10^{-1}$	(A.9)	$N_{i/P} = N_g \cdot A_{i/P} \cdot C_{i/P} \cdot C_{e/P} \cdot C_{u/P} \cdot 10^{-6}$
	$N_{da/P}$	0	(A.5)	Pas de structure adjacente
Service de communication	$N_{L/T}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$	(A.7)	$N_{L/T} = N_g \cdot A_{i/T} \cdot C_{i/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{u/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{i/T}$	1,20	(A.9)	$N_{i/T} = N_g \cdot A_{i/T} \cdot C_{i/T} \cdot C_{e/T} \cdot C_{u/T} \cdot 10^{-6}$
	$N_{da/T}$	$1,12 \cdot 10^{-2}$	(A.5)	$N_{da/T} = N_g \cdot A_{da/T} \cdot C_{da/T} \cdot C_{u/T} \cdot 10^{-6}$

E.3.4 Risque R_1 - Décision relative au besoin de protection

Les valeurs des probabilités P_x sont données dans le Tableau E.3.11 et les composantes de risque pour la structure non protégée sont indiquées dans le Tableau E.3.12.

Tableau E.3.11 – Risque R_1 – Valeurs de la probabilité P pour la structure non protégée

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Référence	Formule
D1	P_A	1	1				

Blessure	$P_{U/P}$		00,2		
	$P_{U/T}$		00,4		
D2 Dommages physiques	P_B		1		
	$P_{V/P}$		00,2		
	$P_{V/T}$		00,4		
D3 Défaillances des réseaux internes	P_C		1	(14)	$P_C = 1 - (1 - P_{C/P}) \cdot (1 - P_{C/T}) = 1 - (1 - 1) \cdot (1 - 1)$
	P_M		0,0064	(15)	$P_M = 1 - (1 - P_{M/P}) \cdot (1 - P_{M/T}) = 1 - (1 - 0,0064) \cdot (1 - 0,00004)$
	$P_{W/P}$		00,2		
	$P_{W/T}$		00,4		
	$P_{Z/P}$		0		
	$P_{Z/T}$		0		

Tableau E.3.12 - Risque R_1 pour la structure non protégée (valeurs $\times 10^{-5}$)

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure	R_A	0,009	0,0009	≈ 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			3,126	0,447	3,572
	R_M			0,896	0,128	1,024
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$			0,678	0,097	0,775
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		0,009	51,6	4,89	0,699	$R_1 = 57,2$
Tolérable		$R_1 > R_T$: Besoin de protection contre la foudre				$R_T = 1$

Du fait que $R_1 = 57,2 \cdot 10^{-5}$ (à vérifier) 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 est principalement influencé (voir Tableau E.3.12) :

- dans la zone Z_2 par les dommages physiques (composantes $R_B \approx 74$ % et $R_V \approx 16$ % du risque total) ;
- dans la zone Z_3 par les défaillances des réseaux internes (composantes $R_C \approx 5$ % 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_{SPD} .

- équiper les zones Z_3 et Z_4 avec un écran spatial en grille 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 (1,5x) meilleure que NPF I ($P_{SPD}=0,005$) 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 $w=0,5$ m.

Avec cette solution, les valeurs de risque du Tableau E.3.12 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.3.13.

Tableau E.3.13 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution a) (valeurs x 10^{-5})

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure	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	0,0005	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C			0,031	0,0045	0,036
	R_M			≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$			0,003	0,0005	0,004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,188	0,038	0,005	$R_1 = 0,232$
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 (3x) meilleure que NPF I ($P_{SPD}=0,001$) 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.3.12 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.3.14.

Tableau E.3.14 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution b) (valeurs x 10^{-5})

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure	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	0,0004	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	0,0003	≈ 0	0,019
D3 Défaillances des réseaux internes	R_C			0,006	0,0009	0,007
	R_M			0,001	≈ 0	0,001
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$			0,0007	0,0001	0,0008
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,188	0,011	0,0016	$R_1 = 0,201$
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 parafoindres sur les réseaux internes de puissance et de communication pour (2x) meilleure que NPF I ($P_{SPD}=0,002$) 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 $w=0,1$ m.

Avec cette solution, les valeurs de risque du Tableau E.3.12 changeront pour conduire aux valeurs réduites indiquées dans le Tableau E.3.15.

Tableau E.3.15 - Risque R_1 pour la structure protégée selon la solution c) (valeurs $\times 10^{-5}$)

	Symbole	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Structure
D1 Blessure	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			0,012	0,002	0,014
	R_M			≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$			0,001	≈ 0	0,001
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,188	0,017	0,002	$R_1 = 0,208$
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.3.6 Risque R_4 - Analyse de rentabilité

Pour la perte économique L4, 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.3.1 à E.3.8, pour lesquelles seules les valeurs de pertes L_x pour la perte économique L4 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.3.4 pour chaque zone et au total.

A partir des valeurs de risque R_4 ou R'_4 et du coût total de la structure $c_t = 90 \cdot 10^6$ \$ (Tableau E.3.4), le coût annuel des pertes $C_L = R_4 \cdot c_t$ pour la structure non protégée et $C_{RL} = R'_4 \cdot c_t$ pour la structure protégée peut être calculé (voir formules D.2 et D.4 de l'Annexe D). Les résultats sont indiqués dans le Tableau E.3.16.

Tableau E.3.16 – 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	63,6	57.204
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	209

Les valeurs des taux d'intérêt, d'amortissement et du coût de maintenance relatives aux mesures de protection sont données dans le Tableau E.3.17.

Tableau E.3.17 – 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.3.18 (voir formule D.5 de l'Annexe D).

Tableau E.3.18 – 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 ($w = 0,5m$)	100.000	10.000		
Ecran des zones Z_3 et Z_4 ($w = 0,1m$)	110.000			11.000
Parafoudre sur le réseau de puissance (1,5xNPF I)	20.000	2.000		
Parafoudre sur le réseau de puissance (2xNPF I)	24.000			2.400
Parafoudre sur le réseau de puissance (3xNPF I)	30.000		3.000	
Parafoudre sur le réseau de communication (1,5xNPF I)	10.000	1.000		
Parafoudre sur le réseau de communication (2xNPF I)	12.000			1.200
Parafoudre sur le réseau de communication (3xNPF I)	15.000		1.500	

Coût annuel total C_{PM}	28.000	19.500	29.600
----------------------------	--------	--------	--------

L'économie annuelle en monnaie S 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.3.19.

Tableau E.3.19 – Économie annuelle en monnaie (valeurs en \$)

	Symbole	Solution a)	Solution b)	Solution c)
Perte pour la structure non protégée	C_L	57.204	57.204	57.204
Perte résiduelle pour la structure protégée	C_{RL}	271	190	209
Coût annuel de la protection	C_{PM}	28.000	19.500	29.600
Économie annuelle $S = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S	28.933	37.514	27.395

E.4 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.

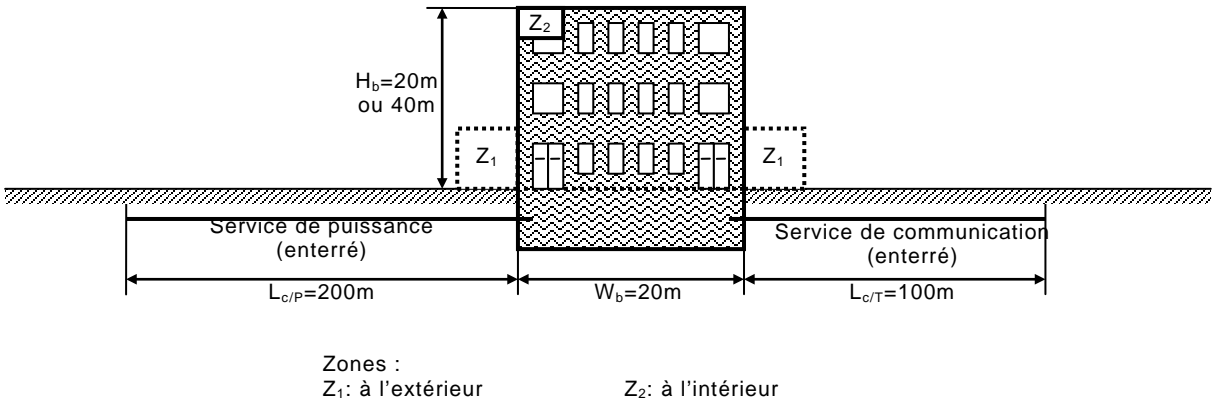


Figure E.4 – Immeuble d'appartements

E.4.1 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.4.1.

Les données relatives aux services entrants et à leurs réseaux internes connectés sont données pour le service de puissance dans le Tableau E.4.2 et pour le service de communication dans le Tableau E.4.3.

Tableau E.4.1 – 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)	$H_b = 20$ ou 40 (voir Tableau E.4.5)	L_b, W_b, H_b	30,20, -	
Facteur d'emplacement de la structure	Structure isolée	$C_{d/b}$	1	Tableau A.1
SPF	Variable (voir Tableau E.4.5)	P_B	-	Tableau B.2
Liaison équipotentielle	Aucune	P_{EB}	1	Tableau B.7
Écran spatial extérieur	Aucun	K_{S1}	1	(B.5)

Tableau E.4.2 – Service de puissance

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_c	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 (Q/km)	Non écranté	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	2,5	
	Paramètres résultants	K_{S4}	0,4	(B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,3	Tableau B.9

Tableau E.4.3 – Service de communication

Paramètre d'entrée	Commentaire	Symbole	Valeur	Référence
Longueur (m)		L_c	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 (Q/km)	Non écranté	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_a, W_a, H_a	-	
Facteur d'emplacement de la structure adjacente	Aucun	$C_{d/a}$	-	Tableau A.1
Tension de tenue du réseau interne (kV)		U_w	1,5	

	Paramètres résultants	K_{S4}	0,67	(B.7)
		P_{LD}	1	Tableau B.8
		P_{LI}	0,5	Tableau B.9

E.4.2 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 d'écrans 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.4.4.

Tableau E.4.4 – 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.2
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.4
Protection contre l'incendie		Variable (voir Tableau E.4.5)	r_p	-	Tableau C.3
Écran spatial interne		aucun	K_{S2}	1	(B.6)
Puissance	Câblage interne	Non écranté (boucles dans le même conduit)	K_{S3}	0,2	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
Communication	Câblage interne	Non écranté (boucles de grande taille > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tableau B.5
	Parafoudres coordonnés	Aucun	P_{SPD}	1	Tableau B.3
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.1
		D2: due aux dommages physiques	L_f	10^{-1}	
Facteur relatif aux personnes en danger		$n_z/n_t \cdot t_z/8760 = 200/200 \cdot 8760/8760$	-	1	

Hauteur H_b (m)	Risque d'incendie	Facteur r_f	Classe de SPF	Facteur P_B	Protection contre le feu	Facteur r_p	Valeurs du risque R_1 $\times 10^{-5}$	Structure protégée $R_1 \leq R_T$
20	Faible	0,001	-	1	-	-	0,837	x
	Ordinaire	0,01	-	1	-	-	8,364	Non
			III	0,1	-	-	0,776	x
			IV	0,2	(1)	0,5	1,493	Non
	Élevé	0,1	-	1	-	-	83,64	Non
			II	0,05	(2)	0,2	0,764	x
			I	0,02	-	-	1,553	Non
			I	0,02	(1)	0,5	0,776	x
40	Faible	0,001	-	1	-	-	2,434	Non
			-	1	(2)	0,2	0,487	x
			IV	0,2	-	-	0,469	x
	Ordinaire	0,01	-	1	-	-	24,34	Non
			IV	0,2	(2)	0,2	0,937	x
			I	0,02	-	-	0,475	x
	Élevé	0,1	-	1	-	-	243,4	Non
			I	0,02	(2)	0,2	0,949	x

(1) *Dispositions manuelles* : extincteurs, prises d'eau, etc.

(2) *Dispositions automatiques* : alarme, extincteurs, etc.

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 60664-1:1992, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*
 - [3] CEI 61643-1:2005, *Parafoudres basse tension – Partie 1: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 1: Exigences et essais*
 - [4] UIT-T Recommandation K.20:2003, *Tenue aux surtensions et aux surintensités des matériels de communication installés dans les centres de communication*
-