



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

prNF EN 62305-4

indice de classement : C 17-100-4

**T1**

**T2 Protection contre la foudre**

**T3 Partie 4 : réseaux de puissance et de communication dans les structures**

E : Protection against lightning - Part 4 : electrical and electronic systems within structures

D :

Avant-projet de norme française homologuée

Est destiné à remplacer la norme homologuée NF EN 62305-4, de décembre 2006.

---

Correspondance

---

Analyse

---

Modifications

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Domaine d'application .....	10
2 Références normatives .....	10
3 Termes et définitions .....	11
4 Conception et mise en œuvre des mesures de protection de réseau de puissance et de communication (PRPC) .....	14
4.1 Généralités.....	14
4.2 Conception d'une protection de réseau de puissance et de communication (PRPC) .....	18
4.3 Zones de protection contre la foudre (ZPF) .....	19
4.4 Mesures de protection fondamentales des PRPC .....	22
5 Mise à la terre et équipotentialité .....	23
5.1 Système de prises de terre .....	24
5.2 Réseau d'équipotentialité.....	26
5.3 Bornes d'équipotentialité .....	31
5.4 Equipotentialité à la frontière d'une ZPF.....	31
5.5 Matériaux et dimensions des éléments d'équipotentialité .....	31
6 Ecrans magnétiques et cheminement.....	32
6.1 Ecran spatial .....	32
6.2 Ecran des lignes internes.....	32
6.3 Cheminement des lignes internes.....	32
6.4 Ecran des lignes externes.....	34
6.5 Matériaux et dimensions des écrans magnétiques .....	34
7 Parafoudres coordonnés.....	34
8 Interfaces d'isolement.....	35
9 Gestion d'une PRPC.....	35
9.1 Plan de gestion d'une PRPC .....	35
9.2 Inspection d'une PRPC.....	37
9.2.1 Procédure d'inspection.....	37
9.2.2 Documentation pour l'inspection.....	38
9.3 Maintenance.....	38
Annexe A (informative) Eléments essentiels pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF .....	39
A.1 Dégradation par la foudre des réseaux de puissance et de communication .....	39
A.1.1 Source de dégradation.....	39
A.1.2 Victimes des dégradations .....	39
A.1.3 Mécanismes de couplage entre victime et source de dégradation .....	40
A.2 Ecran spatial, cheminement et blindage des lignes.....	40
A.2.1 Généralités.....	40
A.2.2 Ecrans spatiaux en grille.....	43
A.2.3 Cheminement et blindage des lignes.....	45
A.3 Champs magnétiques dans les ZPF .....	48
A.3.1 Approximation du champ magnétique dans les ZPF.....	48
A.3.1.1 Ecrans spatiaux en grille de ZPF 1 en cas de coup de foudre direct .....	48

A.3.1.2 Ecrans spatiaux en grille de la ZPF 1 en cas de coup de foudre proche .....	50
A.3.1.3 Ecrans spatiaux en grille pour une ZPF 2 ou d'ordre supérieur .....	53
A.3.2 Evaluation théorique du champ magnétique dû aux coups de foudre directs.....	54
A.3.3 Evaluation expérimentale du champ magnétique dû à un coup de foudre direct.....	56
A.4 Calcul des tensions et courants induits .....	57
A.4.1 Situation dans une ZPF 1 en cas de coup de foudre direct.....	58
A.4.2 Situation dans la ZPF 1 en cas d'impact de foudre proche .....	60
A.4.3 Situation dans une ZPF 2 ou d'ordre supérieur.....	61
Annexe B (informative) Mise en œuvre des mesures de PRPC dans des structures existantes.....	62
B.1 Généralités.....	62
B.2 Liste des vérifications .....	62
B.3 Conception des mesures de PRPC pour une structure existante .....	63
B.4 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 1 .....	64
B.4.1 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 2 .....	64
B.4.2 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 3 .....	64
B.5 Mise en œuvre de parafoudres coordonnés .....	64
B.6 Amélioration d'un système de protection contre la foudre (SPF) existant utilisant l'écran spatial de ZPF 1 .....	65
B.7 Détermination des ZPF pour les réseaux de puissance et de communication .....	66
B.8 Protection par réseau d'équipotentialité .....	70
B.9 Protection par parafoudres.....	70
B.10 Protection par interfaces d'isolement.....	70
B.11 Mesures de protection par cheminement et par écran .....	71
B.11.1 Mesures de protection pour des matériels placés à l'extérieur .....	72
B.11.2 Protection des matériels extérieurs.....	73
B.11.3 Réduction des surtensions dans les câbles.....	75
B.12 Amélioration des interconnexions entre des structures .....	76
B.12.1 Lignes isolées.....	76
B.12.2 Lignes métalliques .....	76
B.13 Intégration des nouveaux réseaux électroniques dans une structure existante .....	78
B.14 Synthèse des mesures de protection possibles .....	79
B.14.1 Alimentation.....	79
B.14.2 Parafoudres .....	79
B.14.3 Interfaces d'isolement .....	79
B.14.4 Cheminement et blindage .....	79
B.14.5 Ecran spatial.....	79
B.14.6 Equipotentialité .....	80
B.15 Amélioration de l'alimentation et de la mise en œuvre des câbles dans la structure.....	80
Annexe C (informative) Choix et mise en œuvre de parafoudres coordonnés.....	81
C.1 Introduction .....	81
C.2 Choix des parafoudres.....	82
C.2.1 Choix vis-à-vis du niveau de protection .....	82

C.2.2 Choix vis-à-vis de l'emplacement et du courant de décharge .....	84
C.3 Mise en œuvre de parafoudres coordonnés .....	85
C.3.1 Emplacement des parafoudres .....	85
C.3.2 Conducteurs de connexion .....	86
C.3.3 Coordination des parafoudres .....	86
C.3.4 Méthode d'installation d'une protection coordonnée par parafoudres .....	86
Annexe D (informative) Facteurs à prendre en compte lors du choix des parafoudres .....	87
D.1 Introduction .....	87
D.1.1 Facteurs déterminant la contrainte exercée sur un parafoudre .....	87
D.2 Quantification du niveau de menace statistique pour un parafoudre .....	90
D.2.1 Facteurs de l'installation affectant la distribution du courant .....	90
D.2.2 Considérations relatives au choix des caractéristiques assignées des parafoudres : $I_{imp}$ , $I_{max}$ , $I_n$ , $U_{oc}$ .....	91
<b>Bibliographie</b> .....	93

Figure 1 – Principe général de partition en diverses ZPF .....	15
Figure 2a – PRPC utilisant des écrans spatiaux et une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$ et $I_2 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_2 < H_0$ ) .....	16
Figure 2b – PRPC utilisant des écrans spatiaux pour la ZPF 1 et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_1 < U_0$ et $I_1 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_1 < H_0$ ) .....	16
Figure 2c – PRPC utilisant un écran de ligne intérieure et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$ et $I_2 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_2 < H_0$ ) .....	17
Figure 2d – PRPC utilisant seulement une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$ et $I_2 < I_0$ ), mais pas contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_0$ ) .....	17
Figure 2 – Protection contre l'IEMF – Exemples de mesures de protection possibles contre l'IEMF (PRPC) .....	17
Figures 3a – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des parafoudres .....	20
Figure 3b – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des câbles écrantés ou des conduits avec écran .....	20
Figures 3c – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des parafoudres .....	21
Figure 3d – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des câbles écrantés ou des conduits avec écran .....	21
Figure 3 – Exemples de ZPF interconnectées .....	21
Figure 4a – Transformateur à l'extérieur de la structure .....	22
Figure 4b – Transformateur à l'intérieur de la structure (ZPF 0 étendue à ZPF 1) .....	22
Figure 4c – Deux parafoudres coordonnés : un parafoudre (entre les zones 0/1) et un parafoudre (entre les zones 1/2) sont nécessaires .....	22
Figure 4d – Un seul parafoudre est nécessaire (entre les zones 0/2) (ZPF 2 étendue à ZPF 1) .....	22
Figure 4 – Exemples de ZPF étendues .....	22
Figure 5 – Exemple de réseau de mise à la terre tridimensionnel associant la prise de terre et les équipotentialités interconnectées .....	24
Figure 6 – Prise de terre maillée d'une implantation .....	25
Figure 7 – Utilisation des armatures d'une structure pour les équipotentialités .....	27

Figure 8 – Equipotentialité dans une structure avec armature en acier .....	28
Figure 9 – Intégration des réseaux de communication dans l'équipotentialité .....	29
Figure 10 – Associations de méthodes d'incorporation des réseaux de communication dans le réseau d'équipotentialité .....	30
Figure A.1 – Situation de l'IEMF due à un impact de foudre .....	40
Figure A.2a – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à un premier coup (10/350 $\mu$ s) par un seul choc 8/20 $\mu$ s (oscillations amorties à 25 kHz) .....	42
Figure A.2b – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à un coup consécutif (0,25/100 $\mu$ s) par des oscillations amorties de 1 MHz (chocs multiples 0,2/0,5 $\mu$ s) .....	42
Figure A.2 – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à des oscillations amorties .....	43
Figure A.3 – Ecran à large volume réalisé par armatures et ossatures métalliques .....	44
Figure A.4 – Volume pour les réseaux de puissance et de communication d'une ZPF n intérieure .....	44
Figure A.5a - Système non protégé .....	45
Figure A.5b - Réduction du champ magnétique dans une ZPF intérieure par écran spatial .....	45
Figure A.5c - Réduction de l'influence du champ sur les lignes par écran .....	45
Figure A.5d - Réduction de la surface de la boucle d'induction par cheminement approprié .....	45
Figure A.5 – Réduction des effets d'induction par des dispositions de cheminement et d'écran .....	46
Figure A.6 – Exemple de PRPC d'un immeuble de bureaux .....	47
Figure A.7a – Champ magnétique dans une ZPF 1 .....	48
Figure A.7b – Champ magnétique dans la ZPF 2 .....	48
Figure A.7 – Evaluation du champ magnétique en cas de coup de foudre direct .....	49
Figure A.8 – Evaluation du champ magnétique dans le cas de coup de foudre proche .....	50
Figure A.9 – Distance $s_a$ en fonction du rayon de la sphère fictive et des dimensions de la structure .....	53
Figure A.10 – Types de volumes d'écrans en grille de grandes dimensions .....	54
Figure A.11 – Force du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1 .....	55
Figure A.12 – Force du champ magnétique $H_{1/\max}$ dans un écran en grille de Type 1 .....	55
Figure A.13a – Dispositif d'essai .....	57
Figure A.13b – Générateur de courant de foudre .....	57
Figure A.13 – Essai à bas niveau pour déterminer le champ magnétique dans une structure avec écran .....	57
Figure A.14 – Tensions et courants induits dans une boucle due aux réseaux .....	58
Figure B.1 – Etapes de la conception d'une PRPC pour une structure existante .....	65
Figure B.2a – ZPF 1 non blindée utilisant un SPF et des parafoudres à l'entrée des réseaux dans la structure (par exemple pour une protection renforcée des réseaux ou pour de petites boucles dans la structure) .....	67
Figure B.2b – ZPF 1 non blindée avec une protection pour de nouveaux réseaux de communication écrantés et des parafoudres coordonnés dans le réseau de puissance .....	67
Figure B.2c – ZPF 1 non blindée et large écran de ZPF 2 pour de nouveaux réseaux de communication .....	68
Figure B.2d – ZPF 1 non blindée et deux ZPF 2 locales pour de nouveaux réseaux de communication .....	69

Figure B.3 – Réduction des dimensions de la boucle en utilisant des câbles écrantés proches d'une plate métallique .....	71
Figure B.4 – Exemple de plaque métallique utilisée comme écran complémentaire.....	72
Figure B.5 – Protection d'antennes et autres matériels extérieurs .....	74
Figure B.6 – Ecran naturel fourni par des échelles et canalisations mises à la terre.....	75
Figure B.7 – Emplacements idéaux pour des lignes sur un mât (section des mâts en acier ).....	76
Figure B.8 – Amélioration des PRPC et compatibilité électromagnétique dans des structures existantes.....	79
Figure C.1 – Surtension entre un conducteur actif et la borne d'équipotentialité .....	84
Figure D.1 – Exemple d'installation d'essai de parafoudres de Classe I, de Classe II et de Classe III .....	88
Figure D.2 – Exemple de base de différentes sources de dommages à une structure et distribution du courant de foudre dans un réseau.....	89
Figure D.3 – Exemple de base de distribution partagée du courant .....	91

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

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

#### 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 62305-4 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 62305-4 est élaboré à partir de la CEI 62305-4, 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

La foudre, en tant que source de dégradation, est un phénomène à très forte énergie. Les chocs de foudre libèrent une énergie de plusieurs centaines de mégajoules. Si l'on compare avec une valeur de l'ordre de quelques millijoules suffisante pour affecter un matériel électronique sensible dans des réseaux de puissance et de communication à l'intérieur d'une structure, il est évident que des mesures de protection complémentaires seront nécessaires pour la protection de certains matériels.

Le besoin de la présente Norme internationale s'est fait sentir en raison de l'accroissement des coûts de défaillances des réseaux de puissance et de communication dus aux effets du champ électromagnétique de la foudre. Les réseaux qui revêtent la plus grande importance sont les réseaux de communication utilisés pour le traitement et le stockage de données ainsi que pour le contrôle et la sécurité des procédés de fabrication des usines de valeur, de dimensions et de complexité considérables (pour lesquelles les arrêts sont indésirables pour des raisons de coût et de sécurité).

La foudre peut entraîner, dans une structure, divers types de dommages définis dans la CEI 62305-1 :

- D1 blessures d'êtres vivants en raison des tensions de contact et de pas ;
- D2 dommages physiques dus aux effets mécaniques, thermiques, chimiques et explosifs ;
- D3 défaillances des réseaux de puissance et de communication dues aux effets électromagnétiques.

La CEI 62305-3 traite des mesures de protection pour la réduction du risque de dommages physiques et de mort mais ne traite pas de la protection des réseaux de puissance et de communication.

La présente Partie 4 de la CEI 62305 donne donc des informations sur les mesures de protection pour la réduction du risque de défaillance permanente des réseaux de puissance et de communication dans les structures.

Les défaillances permanentes des réseaux de puissance et de communication peuvent être dues à l'impulsion électromagnétique de foudre (IEMF) par :

- a) les chocs conduits et induits transmis aux matériels par les câblages de connexion ;
- b) les effets des champs électromagnétiques rayonnés directement dans les matériels.

Les chocs peuvent être générés à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure :

- les chocs à l'extérieur de la structure sont générés par des impacts de foudre sur les lignes entrantes ou sur le sol à proximité de la structure et sont transmis aux réseaux de puissance et de communication via ces lignes ;
- les chocs à l'intérieur de la structure sont dus aux impacts de foudre sur la structure et sur le sol à proximité de la structure.

NOTE – Les chocs peuvent également être internes à la structure, dus aux effets de commutation, par exemple la commutation de charges inductives.

Le couplage peut être dû à plusieurs mécanismes :

- couplage résistif (par exemple dû à l'impédance de la prise de terre de la structure ou à la résistance des blindages des câbles) ;
- couplage de champs magnétiques (par exemple dû à des boucles dans les réseaux de puissance et de communication ou à l'inductance des conducteurs d'équipotentialité) ;
- couplage de champs électriques (par exemple dû aux antennes de réception).

NOTE Les effets de couplage de champs électriques sont généralement très faibles si l'on compare au couplage des champs magnétiques et peuvent être négligés.

Les champs électromagnétiques rayonnés peuvent être dus à :

- l'écoulement du courant direct de foudre dans le canal de foudre,
- l'écoulement de courants partiels de foudre dans des conducteurs (par exemple dans les conducteurs de descente d'un SPF extérieur conforme à la CEI 62305-3 ou dans un écran spatial extérieur conforme à la présente norme).

## PROTECTION CONTRE LA FOUDRE –

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

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62305 fournit des informations relatives à la conception, à l'installation, à l'inspection, à la maintenance et aux essais d'une installation de protection de réseau de puissance et de communication (PRPC) et spécifie les mesures pour réduire le risque de défaillances permanentes dû aux impulsions électromagnétiques de foudre (IEMF) dans une structure.

Cette norme ne traite pas de la protection contre les perturbations électromagnétiques dues à la foudre et susceptibles d'entraîner des dysfonctionnements des réseaux de communication. Toutefois, les informations de l'Annexe A peuvent également être utilisées pour évaluer ces perturbations. Les mesures de protection contre les perturbations électromagnétiques sont traitées dans la CEI 60364-4-44 et dans la série CEI 61000 [1]<sup>1</sup>.

La présente norme donne des lignes directrices pour la coopération entre le concepteur des réseaux de puissance et de communication et le concepteur des mesures de protection pour essayer d'obtenir la protection la plus efficace.

Cette norme ne traite pas de la conception détaillée des réseaux de puissance et de communication eux-mêmes.

#### 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 60364-4-44:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 4-44: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les interférences électromagnétiques*

CEI 60364-5-53:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-53: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Sectionnement, coupure et commande*

CEI 60664-1:2002, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 61000-4-5:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI 61000-4-9:1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel*

CEI 61000-4-10:1993, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti*

---

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

CEI 61000-5-2:1997, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage*

CEI 61643-1:2005, *Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 1: Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essai*

CEI 61643-12: 2002, *Parafoudres basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application*

CEI 61643-21:2000, *Parafoudres basse tension – Partie 21: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais*

CEI 61643-22:2004, *Parafoudres basse tension – Partie 22: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principes de choix et d'application*

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

CEI 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Evaluation du risque*

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

UIT-T Recommandation K.20:2003, *Immunité des équipements de télécommunication des centres de télécommunication aux surtensions et aux surintensités*

UIT-T Recommandation K.21:2003, *Immunité des équipements de télécommunication installés dans les locaux d'abonné aux surtensions et aux surintensités*

UIT-T Recommandation K.45: 2003, *Immunité des équipements de télécommunication installés dans les réseaux d'accès et de jonction aux surtensions et aux surintensités*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants, ainsi que ceux donnés dans les différentes parties de la CEI 62305, s'appliquent.

#### 3.1

##### **réseau de puissance**

réseau comprenant des composants de l'alimentation de puissance basse tension

#### 3.2

##### **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

#### 3.3

##### **réseau interne**

réseaux de puissance et de communication à l'intérieur d'une structure

#### 3.4

##### **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**

**3.5****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.

**3.6****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

**3.7****choc**

onde transitoire créant une surtension et/ou une surintensité due à l'IEMF

**3.8****tenue assignée de choc** **$U_w$** 

tension de choc donnée par le constructeur de l'équipement ou d'une partie de l'équipement, caractérisant la tenue spécifiée de son isolation contre les surtensions

NOTE Pour les besoins de la présente norme, seule la tension assignée entre les conducteurs actifs et la terre est considérée.

**3.9****niveau de protection contre la foudre****NPF**

chiffre lié à l'ensemble de paramètres du courant de foudre et relatif à la probabilité que les valeurs minimales et maximales prévues ne seront pas dépassées lors d'apparition naturelle d'orages

NOTE Un niveau de protection contre la foudre est utilisé pour prévoir des mesures de protection conformément à l'ensemble des paramètres du courant de foudre.

**3.10****zone de protection contre la foudre****ZPF**

zone dont l'environnement électromagnétique est défini

NOTE Les limites d'une ZPF ne sont pas forcément les limites physiques (par exemple les parois, le sol ou le plafond).

**3.11****protection de réseau de puissance et de communication****PRPC**

mesures prises pour protéger les réseaux internes contre les effets de l'IEMF

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

**3.12****écran spatial en grille**

écran magnétique caractérisé par ses ouvertures

NOTE Pour un bâtiment ou un local, il est, de préférence, réalisé par interconnexion de composants métalliques normaux de la structure (par exemple armatures du béton, encadrements et supports métalliques).

**3.13****prise de terre**

partie de l'installation extérieure de SPF destinée à conduire et à dissiper le courant de foudre à la terre

**3.14****réseau d'équipotentialité**

réseau de conducteurs reliant les parties conductrices de la structure et des réseaux internes (à l'exclusion des conducteurs actifs) à la prise de terre

**3.15****réseau de terre**

réseau associant la prise de terre et le réseau d'équipotentialité

**3.16****parafoudre**

(SPD, en anglais)

dispositif conçu pour limiter les surtensions transitoires et évacuer les courants de choc. Il comporte au moins un composant non linéaire

**3.17****parafoudre soumis à essai sous  $I_{imp}$** 

parafoudre résistant à un courant de foudre partiel d'onde typique 10/350  $\mu$ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc  $I_{imp}$

NOTE Pour les réseaux de puissance, un courant adapté d'essai  $I_{imp}$  est défini dans la méthode d'essai de Classe I de la CEI 61643-1.

**3.18****parafoudre soumis à essai sous  $I_n$** 

parafoudre résistant à des courants de choc d'onde typique 8/20  $\mu$ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc  $I_n$

NOTE Pour les réseaux de puissance, un courant adapté d'essai  $I_n$  est défini dans la méthode d'essai de Classe II de la CEI 61643-1.

**3.19****parafoudre soumis à essai en onde combinée**

parafoudre résistant à des courants de choc induits d'onde typique 8/20  $\mu$ s nécessitant un courant correspondant d'essai de choc  $I_{sc}$

NOTE Pour les réseaux de puissance, une onde combinée d'essai est définie dans la méthode d'essai de Classe III de la CEI 61643-1 définissant la tension en circuit ouvert  $U_{oc}$  1,2/50  $\mu$ s et le courant de court-circuit  $I_{sc}$  8/20  $\mu$ s d'un générateur d'onde combinée de 2  $\Omega$ .

**3.20****parafoudre de type coupure en tension**

parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, qui peut chuter rapidement en réponse à un choc

NOTE 1 Des composants habituels utilisés comme dispositifs à coupure en tension sont par exemple les éclateurs, les tubes à gaz, les thyristors silicium (redresseurs silicium) et les triacs. Ces parafoudres peuvent être parfois dits «de type crowbar».

NOTE 2 Un parafoudre de type coupure en tension présente une caractéristique tension/courant discontinue.

**3.21****parafoudre de type limitation de tension**

parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, mais qui diminue de manière continue avec un courant et une tension de choc croissants

NOTE 1 Des exemples habituels de composants utilisés comme dispositifs non linéaires sont les varistances et les diodes écrêteuses. Ces parafoudres peuvent être parfois dits «de type clamping».

NOTE 2 Un parafoudre de type limitation de tension présente une caractéristique tension/courant continue.

**3.22****parafoudre de type combiné**

parafoudre comprenant des composants de type coupure en tension et de type limitation de tension et pouvant couper en tension, limiter en tension ou effectuer les deux à la fois, et dont le comportement dépend des caractéristiques de la tension appliquée

**3.23****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

### 3.24

#### **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 1 Les caractéristiques de tenue d'isolement de ces dispositifs doivent être appropriées à la présente application.

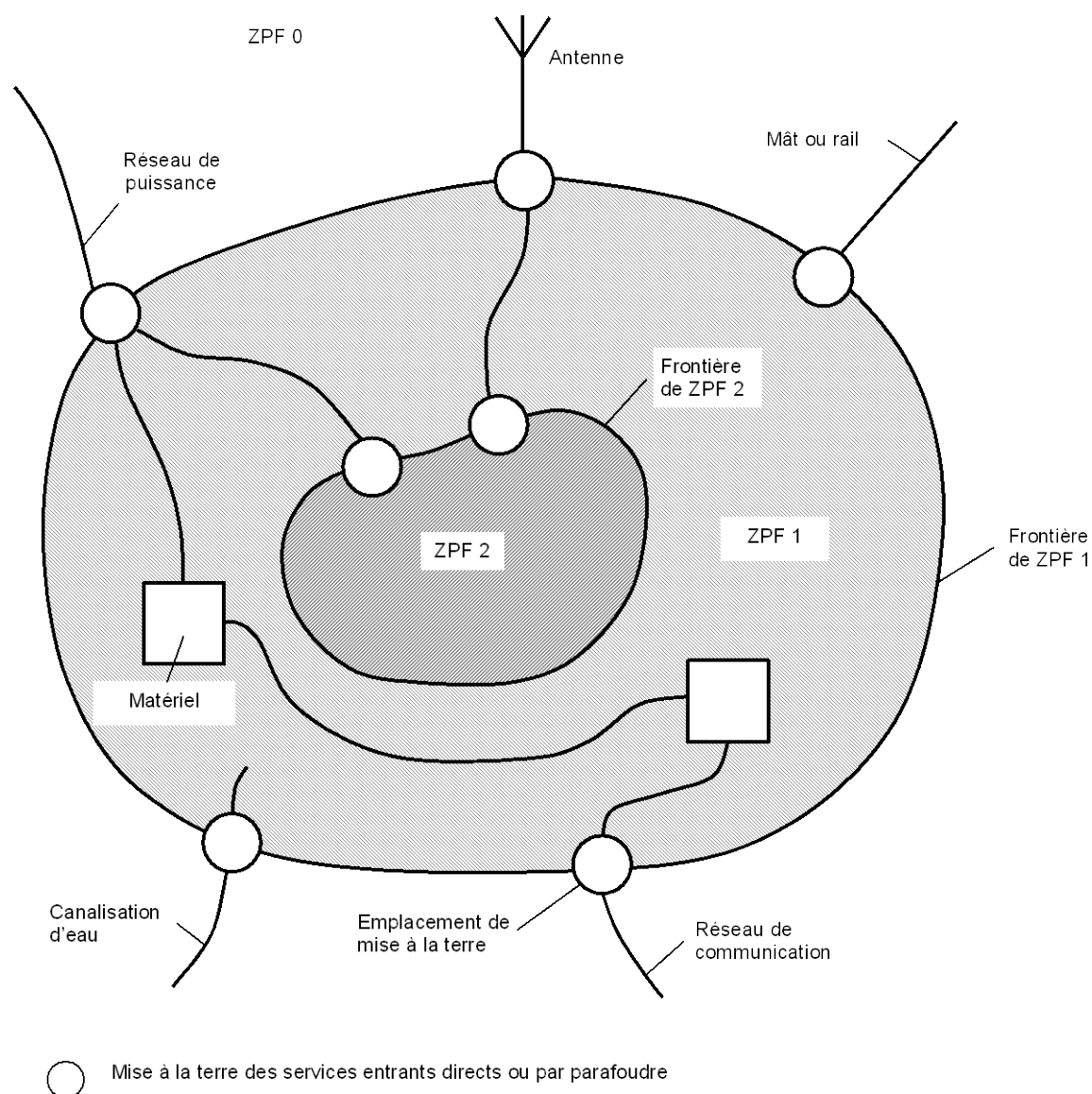
## **4 Conception et mise en œuvre des mesures de protection de réseau de puissance et de communication (PRPC)**

### **4.1 Généralités**

Les réseaux de puissance et de communication sont mis en danger par l'impulsion électromagnétique de foudre (IEMF). C'est pourquoi des mesures de PRPC doivent être prévues pour éviter des défaillances des réseaux internes.

Il convient que les mesures de PRPC soient conçues par des experts en protection contre la foudre et les chocs de foudre possédant une connaissance approfondie en matière de CEM et de pratiques de mise en œuvre.

La protection contre l'IEMF se fonde sur le concept de zone de protection contre la foudre (ZPF) : la zone comportant des réseaux à protéger doit être divisée en ZPF. Ces zones sont théoriquement des volumes spécifiés (ou d'un réseau interne) de sévérité IEMF compatible avec le niveau d'immunité des réseaux internes qu'ils contiennent (voir Figure 1). Les zones successives sont caractérisées par des modifications significatives de la sévérité IEMF. Les frontières d'une ZPF sont définies par les mesures de protection utilisées (voir Figure 2).

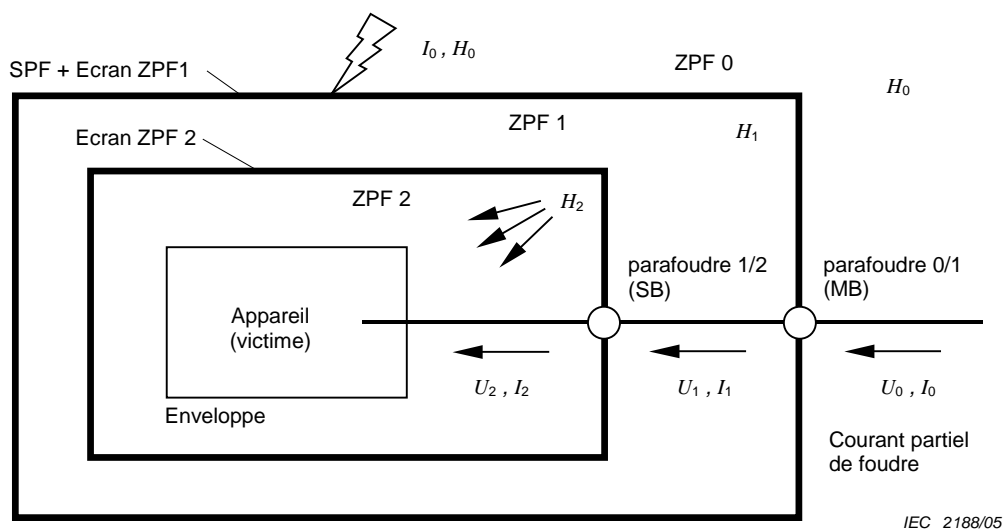


IEC 2187/05

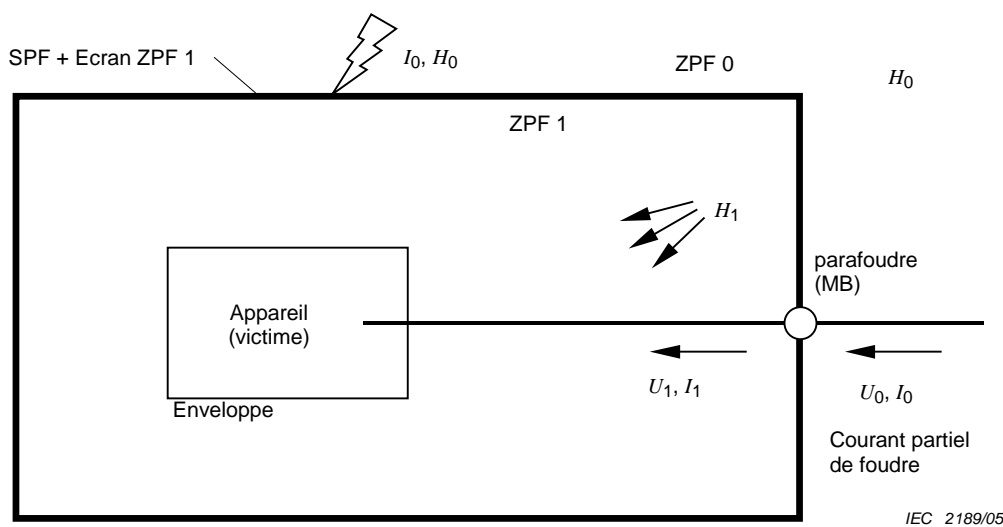
NOTE Cette figure montre un exemple de partition d'une structure en ZPF intérieures. Tous les services métalliques pénétrant dans la structure sont mis à la terre par des bornes d'équipotentialité à l'entrée de la ZPF 1. De plus, les services conducteurs entrant dans la ZPF 2 (par exemple salle d'ordinateurs) sont mis à la terre par des bornes d'équipotentialité à la frontière de la ZPF 2.

**Figure 1 – Principe général de partition en diverses ZPF**

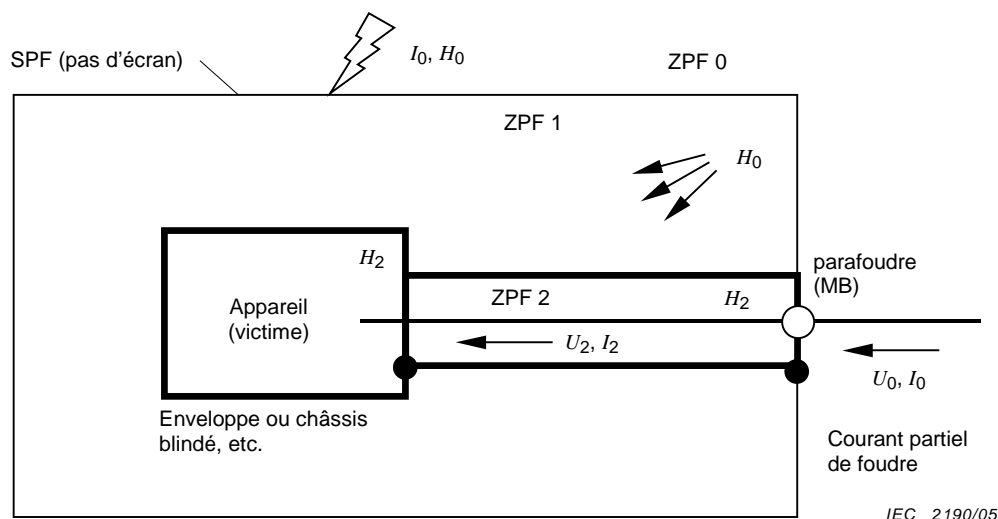




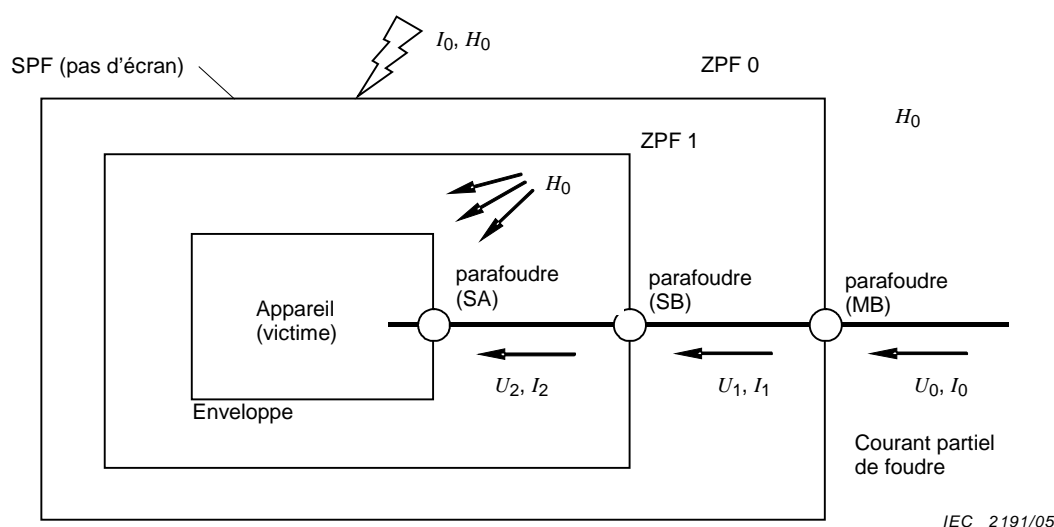
**Figure 2a – PRPC utilisant des écrans spatiaux et une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$  et  $I_2 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_2 < H_0$ )**



**Figure 2b – PRPC utilisant des écrans spatiaux pour la ZPF 1 et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_1 < U_0$  et  $I_1 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_1 < H_0$ )**



**Figure 2c – PRPC utilisant un écran de ligne intérieure et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$  et  $I_2 < I_0$ ) et contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_2 < H_0$ )**



**Figure 2d – PRPC utilisant seulement une protection coordonnée par parafoudres – Matériels protégés contre les chocs conduits ( $U_2 < U_0$  et  $I_2 < I_0$ ), mais pas contre les champs magnétiques rayonnés ( $H_0$ )**

— Frontières écrantées

— Frontières non écrantées.

NOTE 1 Les parafoudres peuvent être situés aux points suivants :

- à la frontière de la ZPF 1 (par exemple au tableau principal de distribution MB);
- à la frontière de la ZPF 2 (par exemple au tableau secondaire de distribution SB);
- à proximité du matériel (par exemple sur la prise SA).

NOTE 2 Pour des règles d'installation détaillées, voir aussi la CEI 60364-5-53.

**Figure 2 – Protection contre l'IEMF – Exemples de mesures de protection possibles contre l'IEMF (PRPC)**

Des défaillances permanentes des réseaux de puissance et de communication dues à l'IEMF peuvent être dues à :

- des chocs conduits et induits sur les matériels par les câblages de connexion,
- des effets des champs électromagnétiques rayonnés sur les matériels eux-mêmes.

Pour la protection contre les effets des champs électromagnétiques rayonnés directement sur le matériel, il convient d'utiliser une PRPC comprenant des écrans spatiaux et/ou des services blindés, associée à des matériels sous enveloppe blindée.

Pour la protection contre les effets des chocs conduits et induits transmis aux matériels par les câblages de connexion, il convient d'utiliser une PRPC comprenant des parafoudres coordonnés.

Les défaillances dues à des champs électromagnétiques directs sont négligeables si les matériels sont conformes aux essais d'émission et d'immunité RF définis dans les normes de produits CEM correspondantes.

En règle générale, le matériel doit être conforme aux normes de produits CEM correspondantes. Par conséquent, une PRPC comprenant une protection coordonnée par parafoudres est généralement considérée comme suffisante pour protéger ce type de matériel contre les effets de l'IEMF.

Pour les matériels non conformes aux normes de produits CEM correspondantes, une simple PRPC comprenant une protection coordonnée par parafoudres n'est pas considérée comme appropriée pour protéger ce type de matériel contre les effets de l'IEMF. Dans ce cas, l'Annexe A donne des informations supplémentaires pour réaliser la protection contre les effets directs des champs électromagnétiques. Le niveau de tenue de ces matériels doit être choisi conformément à la CEI 61000-4-9 et à la CEI 61000-4-10.

Si nécessaire pour des applications spécifiques, il est possible de réaliser en laboratoire un essai de simulation de niveau de protection de réseau comprenant un ou des parafoudres, le câblage d'installation et le matériel considéré afin de vérifier la coordination de la protection.

#### **4.2 Conception d'une protection de réseau de puissance et de communication (PRPC)**

Des PRPC peuvent être conçues pour la protection des matériels contre les chocs et contre les champs électromagnétiques. La Figure 2 donne des exemples :

- Des PRPC utilisant des écrans spatiaux et une protection coordonnée par parafoudres protégeront contre les champs magnétiques rayonnés et contre les chocs conduits (voir la Figure 2a). Des écrans spatiaux en cascade et des parafoudres coordonnés peuvent réduire le champ magnétique et les chocs à des valeurs inférieures au niveau de menace.
- Des PRPC utilisant un écran spatial de ZPF 1 et un parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 peuvent protéger les matériels contre le champ magnétique rayonné et contre les chocs conduits (voir Figure 2b).

NOTE 1 La protection ne sera pas suffisante si le champ magnétique reste trop élevé (dû à un écran faible de la ZPF 1) ou si le niveau de choc reste trop élevé (niveau de protection du parafoudre trop élevé et effets d'induction en aval du parafoudre).

- Des PRPC utilisant les réseaux écrantés, associées à des matériels sous enveloppes écrantées protégeront contre les champs magnétiques rayonnés. Le parafoudre à l'entrée de la ZPF 1 assurera la protection contre les chocs conduits (voir Figure 2c). Pour obtenir un niveau de menace inférieur (en une étape de la ZPF 0 à la ZPF 2), un parafoudre particulier peut être requis (par exemple étages intérieurs de coordination supplémentaires) pour obtenir un niveau de protection suffisamment bas.
- Des PRPC utilisant une protection coordonnée par parafoudres ne sont efficaces que pour des matériels insensibles aux champs magnétiques rayonnés car les parafoudres

n'assurent que la protection contre les chocs conduits (voir Figure 2d). Une protection plus basse peut être réalisée par des parafoudres coordonnés.

NOTE 2 Des solutions conformes aux Figures 2a à 2c sont recommandées particulièrement pour les matériels non conformes aux normes de produits CEM correspondantes.

NOTE 3 Un SPF conforme à la CEI 62305-3 associé à des parafoudres d'équipotentialité ne protège pas contre les défaillances des réseaux de puissance et de communication sensibles. Le SPF peut être amélioré en réduisant la taille des mailles et en choisissant des parafoudres appropriés constituant des composantes efficaces des PRPC.

### 4.3 Zones de protection contre la foudre (ZPF)

Selon la menace due à la foudre, les ZPF suivantes sont définies (voir CEI 62305-1) :

#### Zones extérieures :

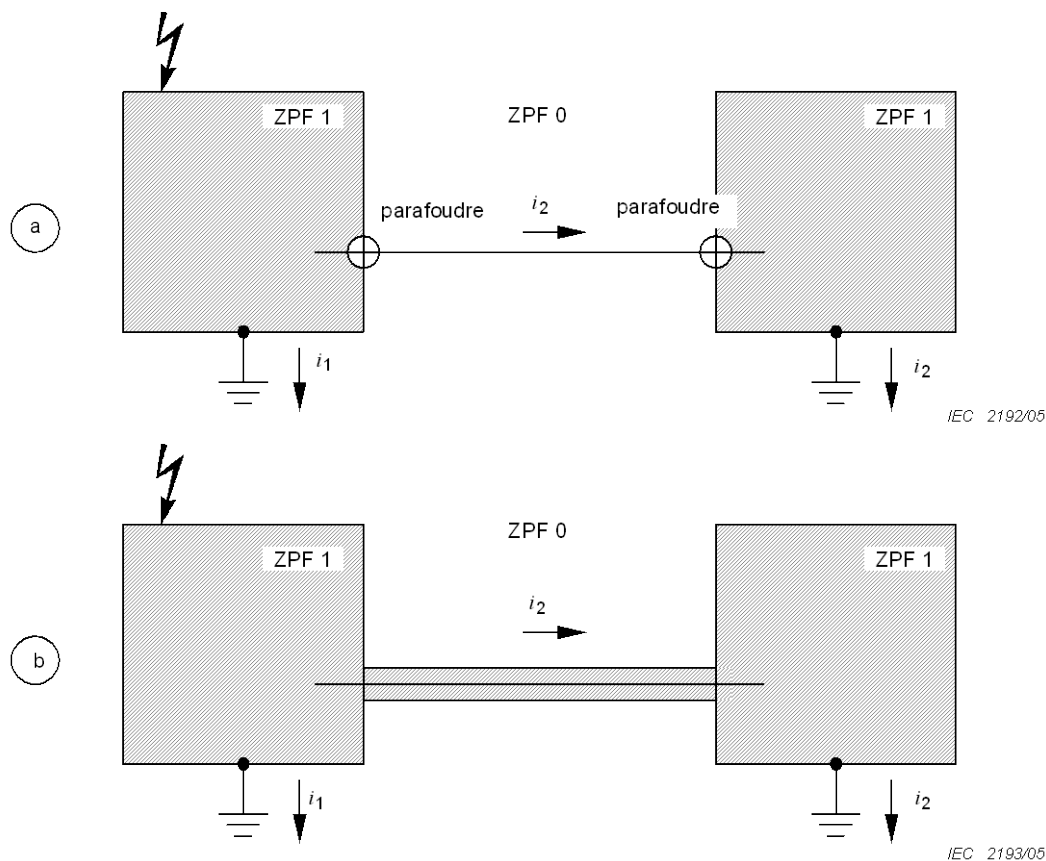
- ZPF 0 Zone mise en danger par les champs électromagnétiques de foudre non amortis et où les réseaux internes peuvent être mis en danger par des chocs sous le courant plein ou partiel de la foudre. Une ZPF 0 se subdivise en :
  - ZPF 0<sub>A</sub> zone mise en danger par des coups de foudre directs et par le champ électromagnétique total de foudre. Les réseaux internes peuvent être mis en danger par des chocs sous le courant plein de foudre.
  - ZPF 0<sub>B</sub> zone protégée contre les coups de foudre directs. Zone mise en danger par le champ électromagnétique total de foudre. Les réseaux internes peuvent être mis en danger par des chocs sous le courant partiel de foudre.

#### Zones intérieures (protégées contre les coups de foudre directs)

- ZPF 1 Zone où les chocs sont limités par le partage du courant et par des parafoudres aux frontières. Le champ électromagnétique de foudre peut être amorti par un écran spatial.
- ZPF2...n Zone où les chocs peuvent être très limités par le partage du courant et par des parafoudres supplémentaires aux frontières. Le champ électromagnétique de foudre est généralement amorti par un écran spatial additionnel.

Les ZPF sont améliorées par les PRPC, par exemple en installant des parafoudres coordonnés et/ou des écrans magnétiques (voir Figure 2). En fonction du nombre, du type et de la tenue des matériels à protéger, une ZPF appropriée peut être définie, depuis des emplacements locaux réduits (par exemple enveloppes d'un matériel) jusqu'à de vastes zones intégrées (par exemple pouvant être étendues à l'ensemble de la structure). Voir Figure B.2.

L'interconnexion de ZPF de même niveau peut être nécessaire si deux structures séparées sont connectées par des réseaux de puissance ou de communication ou peut encore être utilisée pour réduire le nombre de parafoudres (voir Figure 3).



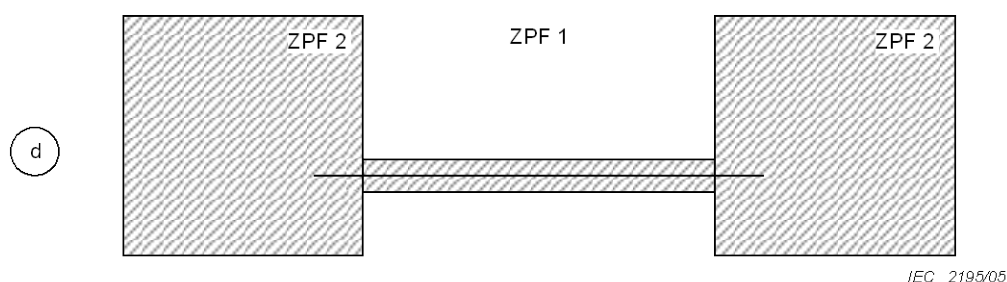
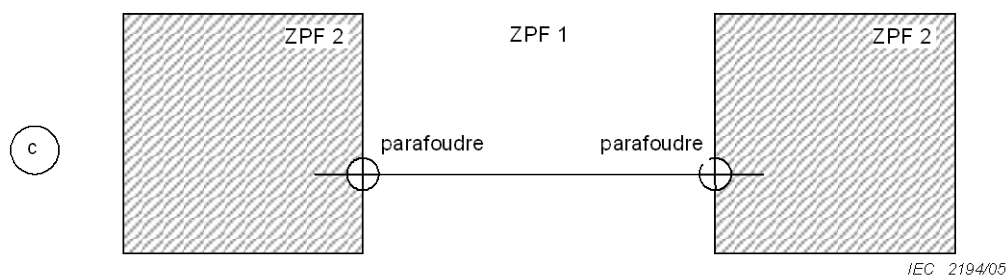
$i_1, i_2$  courants de foudre partiels

NOTE La Figure 3a montre deux ZPF 1 connectées par des réseaux de puissance ou de communication. Il convient de prendre un soin particulier si les deux ZPF 1 représentent des structures séparées avec des prises de terre différentes, distantes de plusieurs dizaines ou centaines de mètres. Dans ce cas, une grande partie du courant de foudre peut s'écouler dans les réseaux interconnectés qui ne sont pas protégés.

NOTE La Figure 3b montre que ce cas peut être résolu en utilisant des câbles ou des conduits écrantés pour interconnecter les deux ZPF 1 si les écrans peuvent conduire les courants de foudre partiels. Le parafoudre peut être omis si la chute de tension le long de l'écran n'est pas trop élevée.

**Figures 3a – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des parafoudres**

**Figure 3b – Interconnexion de deux ZPF 1 utilisant des câbles écrantés ou des conduits avec écran**



NOTE La Figure 3c montre deux ZPF 2 interconnectées par des réseaux de puissance ou de communication. En raison de la menace sur ZPF 1, un parafoudre à l'entrée de chaque ZPF 2 est requis.

NOTE La Figure 3d montre que de telles perturbations peuvent être évitées et que le parafoudre peut être omis si les câbles ou conduits écrantés interconnectent les deux ZPF 2.

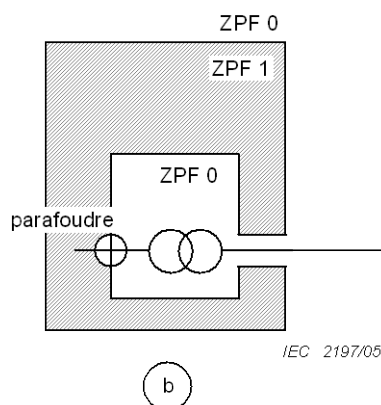
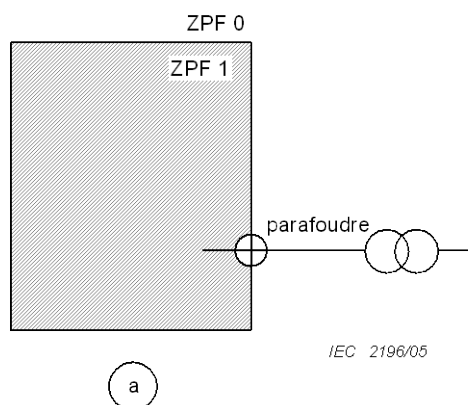
**Figures 3c – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des parafoudres**

**Figure 3d – Interconnexion de deux ZPF 2 utilisant des câbles écrantés ou des conduits avec écran**

### Figure 3 – Exemples de ZPF interconnectées

L'extension d'une ZPF en nouvelle ZPF peut être nécessaire dans des cas particuliers ou peut encore être utilisée pour réduire le nombre de parafoudres (voir Figure 4).

Des informations complémentaires sur l'estimation de l'environnement électromagnétique d'une ZPF sont données à l'Annexe A.



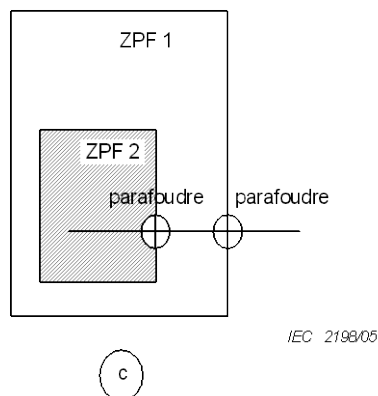
NOTE La Figure 4a montre une structure alimentée par un transformateur. Si le transformateur est à l'extérieur de la structure, seules les lignes basse

NOTE Si le transformateur est dans la structure, le propriétaire de la structure n'est généralement pas autorisé à prendre des dispositions de protection côté

tension pénétrant dans la structure nécessitent une protection par parafoudres.

haute tension. La figure 4b montre que le problème peut être résolu en étendant la ZPF 0 dans la ZPF 1, ce qui ne nécessite des parafoudres que côté basse tension.

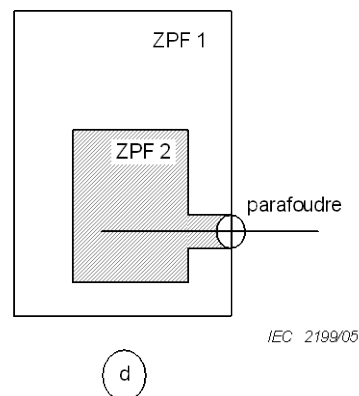
**Figure 4a – Transformateur à l'extérieur de la structure**



NOTE La Figure 4c montre une ZPF 2 alimentée par un réseau de puissance ou de communication. Ces réseaux nécessitent deux parafoudres coordonnés, un à la frontière des ZPF 0/1 et l'autre à la frontière des ZPF 1/2.

**Figure 4c – Deux parafoudres coordonnés : un parafoudre (entre les zones 0/1) et un parafoudre (entre les zones 1/2) sont nécessaires**

**Figure 4b – Transformateur à l'intérieur de la structure (ZPF 0 étendue à ZPF 1)**



NOTE La Figure 4d montre que les réseaux peuvent entrer directement dans la ZPF 2 et seul un parafoudre est requis si la ZPF 2 est étendue à la ZPF 1 par des câbles ou conduits écrantés. Toutefois, ce parafoudre réduira la menace au niveau de la ZPF 2.

**Figure 4d – Un seul parafoudre est nécessaire (entre les zones 0/2) (ZPF 2 étendue à ZPF 1)**

**Figure 4 – Exemples de ZPF étendues**

#### 4.4 Mesures de protection fondamentales des PRPC

Les mesures de protection fondamentales contre l'IEMF sont les suivantes :

- **La mise à la terre et les équipotentialités (voir Article 5)**

La mise à la terre écoule et disperse le courant de foudre à la terre.

L'équipotentialité minimise les différences de potentiel et peut réduire le champ magnétique.

- **Les écrans magnétiques et le cheminement des lignes (voir Article 6)**

L'écran spatial atténue les champs magnétiques dans la ZPF dus à des impacts directs de foudre sur ou près de la structure et réduit les chocs internes.

L'écran des réseaux internes utilisant des câbles écrantés ou des conduits minimise les chocs induits dans l'installation.

Le cheminement des réseaux internes peut minimiser les boucles d'induction et réduire les chocs internes.

NOTE 1 Les écrans spatiaux, des lignes internes et le cheminement peuvent être associés ou utilisés séparément.

L'écran des réseaux externes pénétrant dans la structure réduit les chocs extérieurs transmis aux réseaux internes connectés.

- **Les parafoudres coordonnés (voir Article 7)**

Les parafoudres coordonnés réduisent les effets des chocs extérieurs et intérieurs.

- **Les interfaces d'isolement (voir Article 8)**

Les interfaces d'isolement limitent les effets des chocs conduits sur les services pénétrant dans la ZPF.

Il convient que la mise à la terre et les équipotentialités soient toujours assurées, particulièrement pour les services conducteurs entrants directement ou indirectement par parafoudres au point de pénétration.

D'autres mesures de PRPC peuvent être utilisées seules ou en combinaison.

Les mesures de PRPC doivent résister aux contraintes, par exemple de température, d'humidité, d'atmosphère corrosive, de vibrations, de tension et de courant, susceptibles d'affecter l'emplacement de l'installation.

Le choix des PRPC appropriées doit être fait en utilisant une méthode d'évaluation des risques conformément à la CEI 62305-2 en tenant compte des facteurs techniques et économiques.

Des informations pratiques sur l'amélioration des mesures de PRPC dans les structures existantes sont données à l'Annexe B.

NOTE 2 Une liaison d'équipotentialité de foudre (EB) conforme à la CEI 62305-3 ne protégera que contre l'étincelage. La protection des réseaux internes contre les chocs nécessite une protection coordonnée par parafoudres conforme à la présente norme.

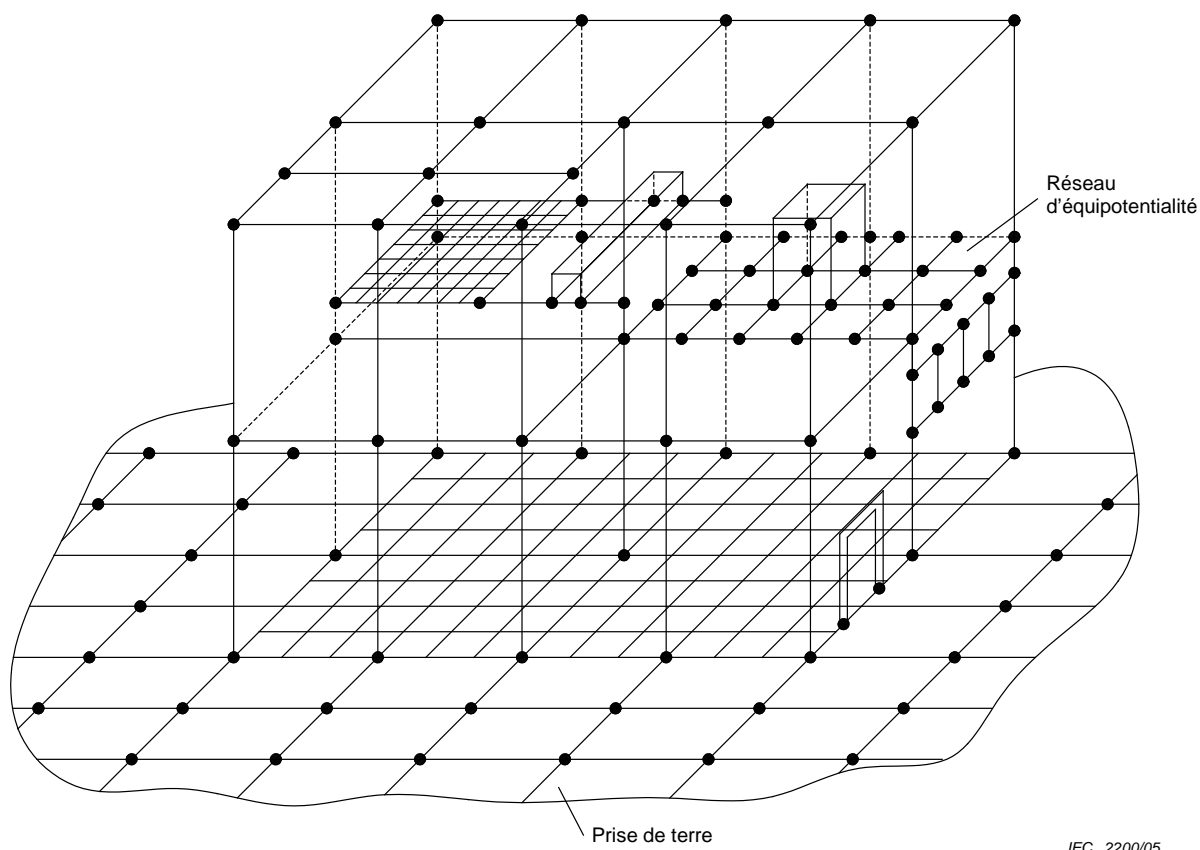
NOTE 3 D'autres informations sur la mise en œuvre de mesures de PRPC peuvent être trouvées dans la CEI 60364-4-44.

## **5 Mise à la terre et équipotentialité**

Une mise à la terre et des équipotentialités appropriées se fondent sur un réseau de terre complet (voir Figure 5) associant :

- les prises de terre (écoulant le courant de foudre à la terre) ; et
- le réseau d'équipotentialité (minimisant les différences de potentiel et réduisant le champ magnétique).





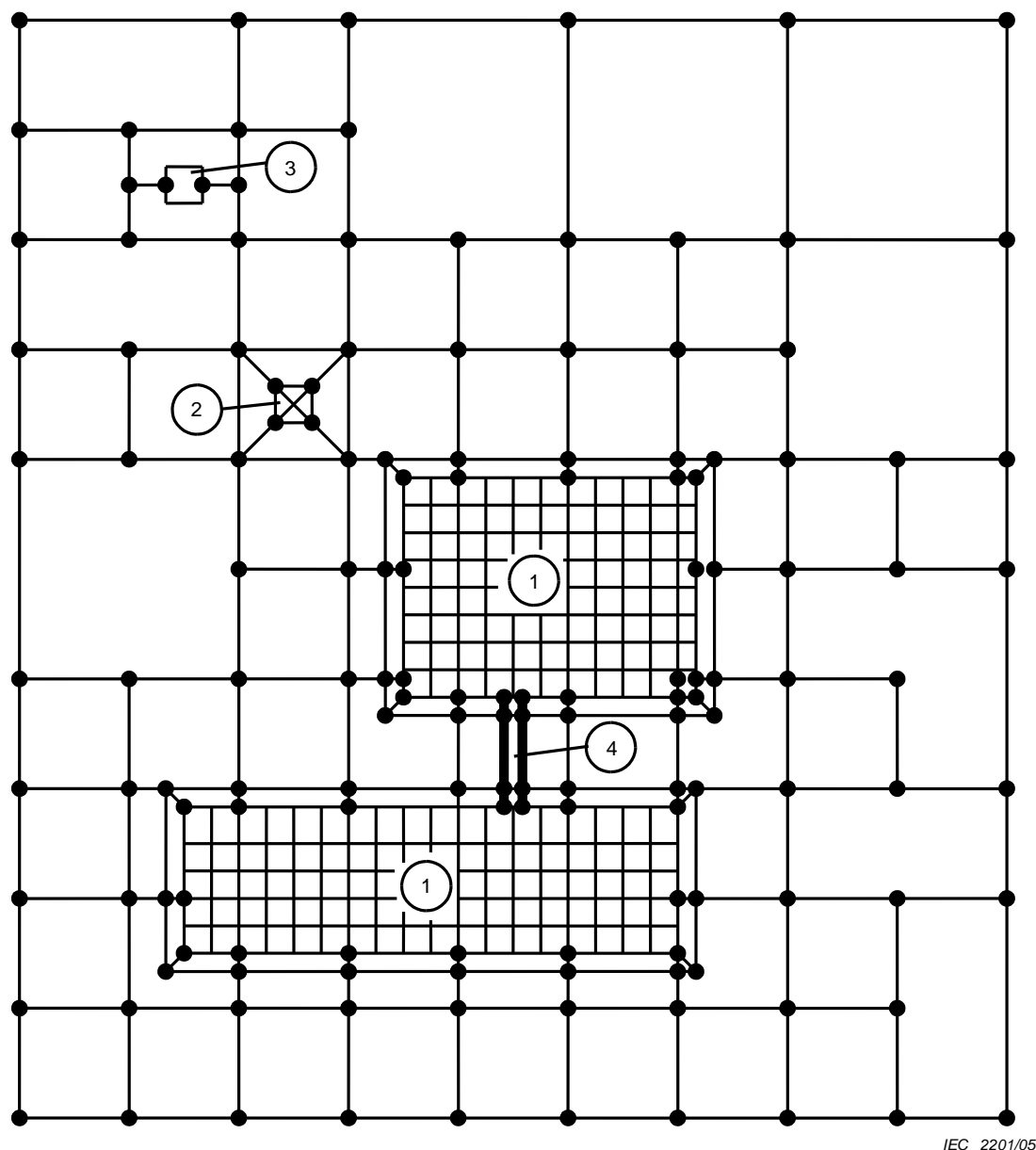
NOTE Toutes les connexions sont des liaisons aux éléments de la structure métallique ou des interconnexions. Des connexions peuvent aussi servir à intercepter, écouler et disperser le courant de foudre à la terre.

**Figure 5 – Exemple de réseau de mise à la terre tridimensionnel associant la prise de terre et les équipotentialités interconnectées**

### 5.1 Système de prises de terre

Le système de prises de terre de la structure doit être conforme à la CEI 62305-3. Dans des structures où seuls des réseaux de puissance existent, une disposition de Type A peut être utilisée, mais une disposition de Type B est préférable. Dans des structures intégrant des réseaux de communication, une disposition de Type B est recommandée.

Il convient que la boucle à fond de fouille autour de la structure et/ou celle dans le béton à la périphérie de la base soit connectée au réseau maillé dessous et autour de la structure, placé tous les 5 m environ. Cela améliore les performances du système de prises de terre. Les armatures du béton dans le sol formant un maillage interconnecté bien défini, connecté au système de prises de terre, généralement tous les 5 m, assurent les mêmes performances. Un exemple de prise de terre maillée est donné à la Figure 6.



#### Légende

- 1 bâtiment avec réseau maillé des armatures
- 2 tour dans l'implantation
- 3 équipement isolé
- 4 chemin de câbles

**Figure 6 – Prise de terre maillée d'une implantation**

Pour réduire les différences de potentiel entre deux réseaux internes pouvant dans certains cas être connectés à des prises de terre différentes, les méthodes suivantes peuvent être appliquées :

- plusieurs conducteurs parallèles dans le même cheminement que les câbles électriques ou câbles enfermés dans des conduits en béton armé en grille (ou présentant une continuité métallique) intégrés dans les deux prises de terre ;
- utilisation de câbles écrantés dont l'écran présente une section adéquate, reliés aux deux extrémités à la terre.

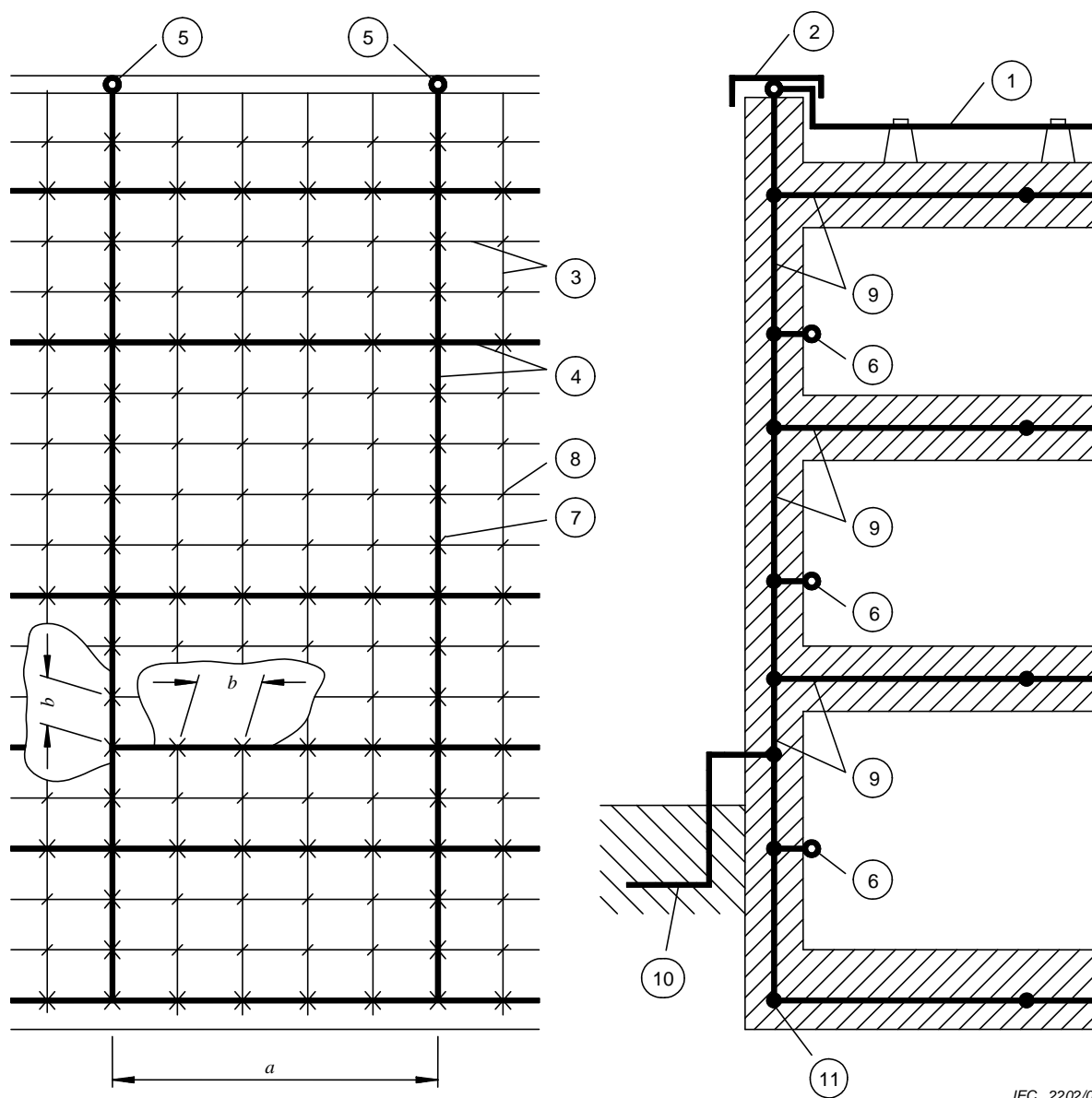
## 5.2 Réseau d'équipotentialité

Un réseau d'équipotentialité de faible impédance est nécessaire pour éviter des différences de potentiel dangereuses entre les matériels dans la ZPF intérieure. De plus, un tel réseau réduit aussi le champ magnétique (voir l'Annexe A).

Cela peut être réalisé par un réseau maillé incorporant toutes les parties conductrices de la structure ou celles du réseau interne et en mettant à la terre toutes les parties métalliques ou les services conducteurs à la frontière de chacune des ZPF directement ou indirectement par parafoudre approprié.

Un réseau maillé d'équipotentialité tridimensionnel peut être réalisé (voir Figure 5) avec une taille de maille typique de 5 m. Cela nécessite de multiples interconnexions des éléments métalliques dans et sur la structure (tels qu'armatures du béton, rails d'ascenseurs, grues, toitures métalliques, façades métalliques, cadres métalliques de fenêtres et de portes, de planchers, canalisations et chemins de câbles). De la même façon, les bornes d'équipotentialité (par exemple ceinturages, bornes d'étages) et les écrans magnétiques doivent être compris.

Des exemples de réseaux d'équipotentialité sont donnés dans les Figures 7 et 8.



IEC 2202/05

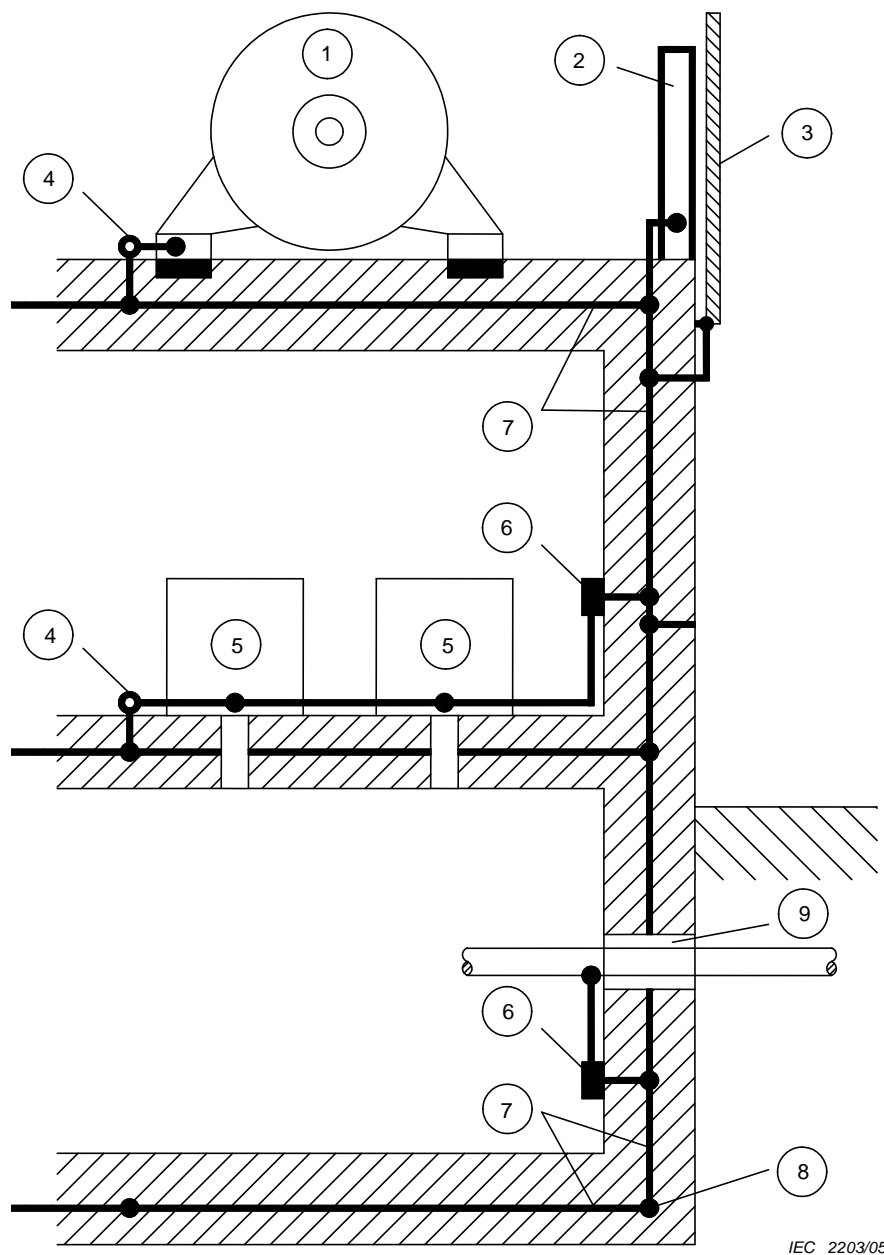
**Légende**

- 1 conducteur de capture
- 2 revêtement métallique du parapet
- 3 tiges en acier de renfort
- 4 conducteurs maillés en complément des armatures
- 5 jonction de conducteurs maillés
- 6 jonction à une borne d'équipotentialité interne
- 7 connexion par serrage ou soudure
- 8 connexion arbitraire
- 9 armature acier du béton (avec conducteurs maillés complémentaires)
- 10 conducteur de ceinturage (éventuel)
- 11 boucle à fond de fouille

$a$  distance typique de 5 m pour des conducteurs maillés complémentaires

$b$  distance typique de 1 m pour la connexion des conducteurs maillés aux armatures

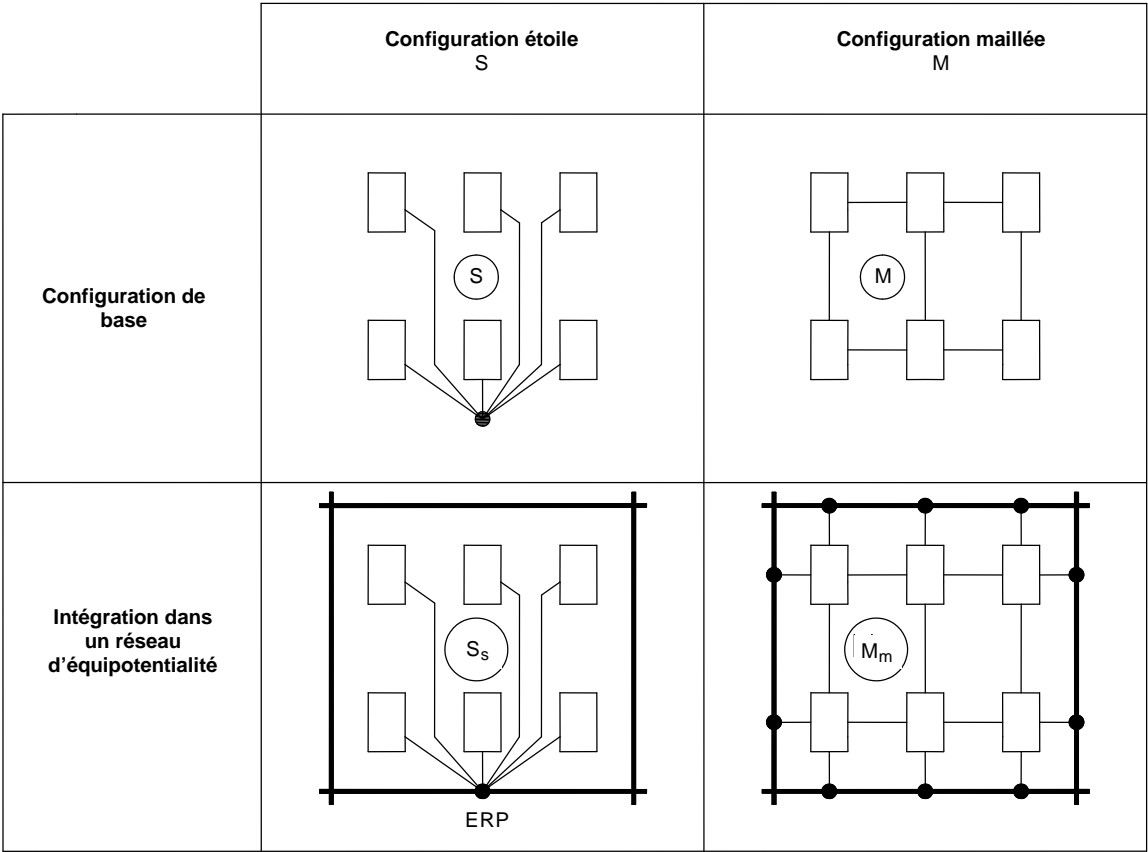
**Figure 7 – Utilisation des armatures d'une structure pour les équipotentialités**

**Légende**

- 1 équipement électrique de puissance
- 2 poutre métallique
- 3 revêtement métallique de façade
- 4 connexion d'équipotentialité
- 5 matériel électrique ou électronique
- 6 borne d'équipotentialité
- 7 armature acier du béton (avec conducteurs maillés complémentaires)
- 8 boucle à fond de fouille
- 9 entrée commune des divers services

**Figure 8 – Equipotentialité dans une structure avec armature en acier**

Les parties conductrices (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) et le conducteur de protection des circuits des réseaux internes doivent être mis à la terre au réseau d'équipotentialité selon les configurations suivantes (voir Figure 9):



IEC 2204/05

- Réseau d'équipotentialité
- Conducteur d'équipotentialité
- Matériel
- Jonction au réseau d'équipotentialité
- ERP      ERP: point de référence terre
- S<sub>s</sub>      Configuration étoile intégrée dans un point étoile
- M<sub>m</sub>      Configuration maillée intégrée dans une maille

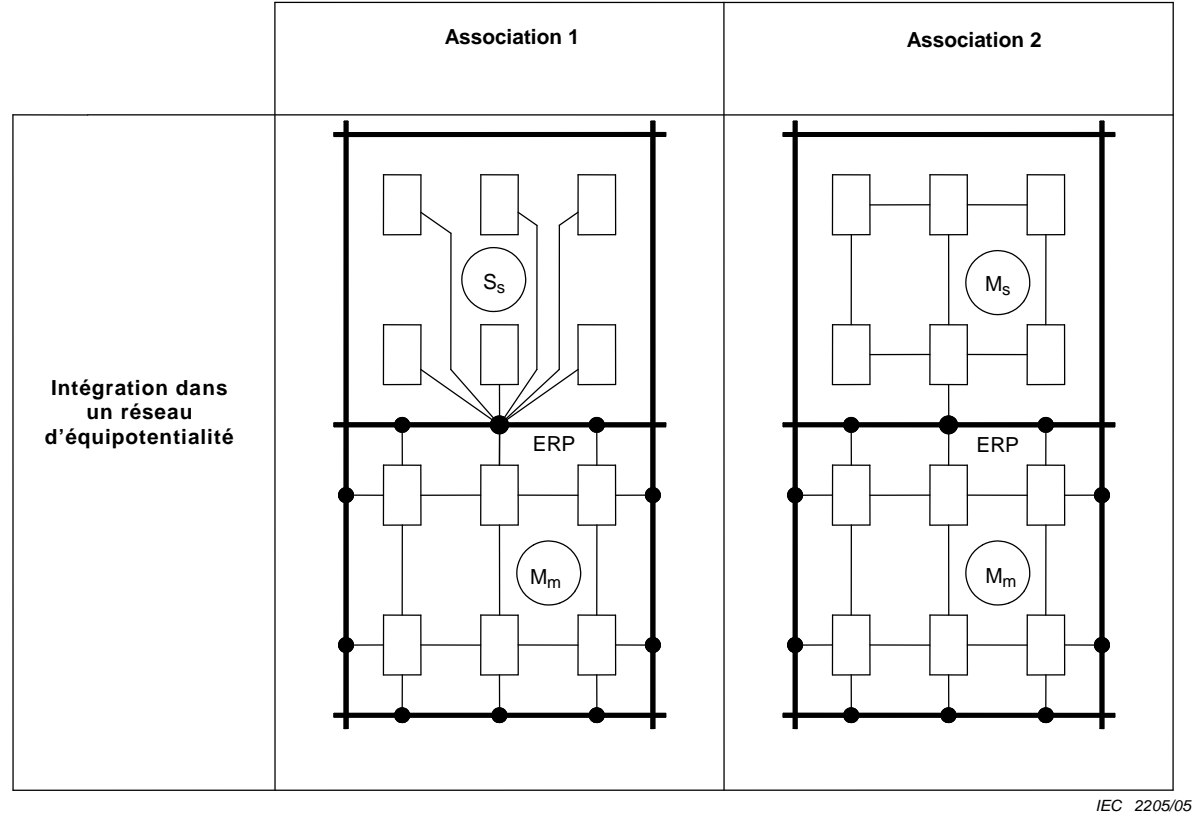
Figure 9 – Intégration des réseaux de communication dans l'équipotentialité

Si la configuration étoile S est utilisée, tous les éléments métalliques (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) des réseaux internes doivent être isolés de manière appropriée par rapport à la terre. Cette configuration étoile S ne doit être intégrée que dans une mise à la terre n'utilisant qu'une seule borne d'équipotentialité comme terre de référence résultant en un type S<sub>s</sub>. Dans ce cas, tous les câbles d'alimentation doivent cheminer parallèlement avec les conducteurs de mise à la terre de la configuration afin d'éviter des boucles d'induction. La configuration étoile S peut être utilisée avec des réseaux internes limités et avec des lignes pénétrant en un seul point.

Si la configuration maillée M est utilisée, tous les éléments métalliques (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs) des réseaux internes ne doivent pas être isolés de la terre, mais doivent être intégrés dans une mise à la terre en une multitude de points, résultant en un type

$M_m$ . Dans ce cas, la configuration M est préférée pour des réseaux internes étendus à des zones relativement larges ou pour l'ensemble de la structure, avec de nombreuses interconnexions entre matériels et si les lignes pénètrent dans la structure en plusieurs points.

Dans des systèmes complexes, les avantages des deux configurations (M et S) peuvent être associés comme montré à la Figure 10, entraînant l'association 1 ( $S_s$  associée à  $M_m$ ) ou l'association 2 ( $M_s$  associée à  $M_m$ ).



- Réseau d'équipotentialité
- Conducteur d'équipotentialité
- Matériel
- Jonction au réseau d'équipotentialité
- ERP ERP: point de référence terre
- $S_s$  Configuration étoile intégrée dans un point étoile
- $M_m$  Configuration maillée intégrée dans une maille
- $M_s$  Configuration maillée intégrée par un point étoile

**Figure 10 – Associations de méthodes d'incorporation des réseaux de communication dans le réseau d'équipotentialité**

### 5.3 Bornes d'équipotentialité

Les bornes d'équipotentialité doivent être installées pour la mise à la terre

- de tous les services conducteurs entrant dans une ZPF (directement ou par parafoudre approprié),
- du conducteur de protection,
- des éléments métalliques des réseaux internes (par exemple armoires, enveloppes, tiroirs),
- des écrans magnétiques de la ZPF à la périphérie et à l'intérieur de la structure.

Pour l'efficacité de l'équipotentialité, les règles d'installation suivantes sont importantes :

- un bon réseau d'équipotentialité est un réseau à faible impédance,
- il convient de connecter les bornes d'équipotentialité à la prise de terre par le chemin le plus court,
- les matériaux et dimensions des bornes d'équipotentialité et des conducteurs doivent satisfaire à 5.5 ;
- il convient que les connexions des parafoudres soient les plus courtes possible en amont et en aval de ceux-ci pour éviter des chutes de tension inductive,
- en aval du parafoudre, il convient de minimiser les effets d'induction mutuelle, soit en réduisant les boucles d'induction, soit en utilisant des câbles écrantés ou des conduits.

### 5.4 Equipotentialité à la frontière d'une ZPF

Si une ZPF est définie, une équipotentialité des parties métalliques et des services (par exemple canalisations métalliques, réseaux de puissance ou de communication) doit être réalisée en pénétrant la frontière de la ZPF.

NOTE Il convient que la mise à la terre des services entrant dans la ZPF 1 soit négociée avec les opérateurs des réseaux (par exemple de puissance ou de communication) afin d'éviter des exigences conflictuelles.

L'équipotentialité doit être effectuée à l'aide de bornes disposées aussi près que possible du point de pénétration à la frontière.

Dans toute la mesure du possible, il convient que les services entrants pénètrent dans la ZPF au même point et soient connectés à la même borne. Si les services pénètrent en plusieurs points d'une ZPF, chaque service doit être connecté à une borne d'équipotentialité et les diverses bornes doivent être interconnectées. A cette fin, un ceinturage d'équipotentialité est recommandé.

Les parafoudres d'équipotentialité sont toujours prescrits au point d'entrée dans la ZPF afin de connecter les lignes des réseaux internes entrants dans la ZPF. Le nombre de parafoudres peut être réduit en utilisant des ZPF interconnectées ou étendues.

Les câbles écrantés ou les conduits métalliques interconnectés, mis à la terre à chaque frontière de la ZPF, peuvent être utilisés pour l'interconnexion de plusieurs ZPF proches de même niveau ou pour étendre une ZPF.

### 5.5 Matériaux et dimensions des éléments d'équipotentialité

Les matériaux, les dimensions et les conditions d'utilisation doivent être conformes à la CEI 62305-3. Les sections minimales doivent être conformes aux valeurs du Tableau 1.

Les fixations doivent être dimensionnées en fonction des valeurs du courant de foudre du niveau de protection (voir la CEI 62305-1) et de l'analyse du partage du courant (voir la CEI 62305-3).



Les parafoudres doivent être dimensionnés conformément à l'Article 7.

**Tableau 1 – Sections minimales des éléments d'équipotentialité**

Composant de mise à la terre		Matériau	Section mm <sup>2</sup>
Bornes d'équipotentialité (cuivre ou acier galvanisé)		Cu, Fe	50
Conducteurs de connexion depuis les bornes d'équipotentialité au système de prises de terre ou entre les autres bornes d'équipotentialité (transportant la totalité ou une partie significative du courant de foudre)		Cu	16
		Al	25
		Fe	50
Conducteurs de connexion depuis les installations internes métalliques et les bornes d'équipotentialité (transportant le courant de foudre partiel)		Cu	6
		Al	10
		Fe	16
Conducteurs de connexion des parafoudres (transportant la totalité ou une partie significative du courant de foudre)	Classe I	Cu	16
	Classe II		6
	Classe III		1
NOTE 1 : Il convient que les matériaux autres que le cuivre présentent une section assurant une résistance équivalente.			
NOTE 2 : Pour les parafoudres utilisés dans des applications de puissance, des informations complémentaires relatives aux conducteurs de connexion sont données dans la CEI 60364-5-53 et dans la CEI 61643-12.			
NOTE 3 : Dans certains pays, il est possible d'utiliser des conducteurs de plus petites dimensions à condition qu'ils satisfassent aux exigences thermiques et mécaniques– voir la CEI 62305-1 Annexe D.			

## 6 Ecrans magnétiques et cheminement

Les écrans magnétiques peuvent diminuer les champs électromagnétiques et la magnitude des chocs induits internes. Un cheminement approprié des lignes internes peut aussi minimiser les chocs internes induits. Les deux mesures sont efficaces contre des défaillances permanentes des réseaux internes.

### 6.1 Ecran spatial

Un écran spatial définit une zone protégée, qui peut couvrir soit l'ensemble de la structure, une de ses parties, un local ou une enveloppe de matériel seule. Il peut s'agir d'un écran métallique en grille ou continu ou l'utilisation de « composants naturels » de la structure elle-même (voir la CEI 62305-3).

Un écran spatial est envisageable là où il est plus pratique et utile de protéger une zone définie de la structure et non plusieurs matériels. Il convient de prévoir un écran spatial lors de l'étude préliminaire d'une structure neuve ou d'un nouveau réseau interne, car dans des structures existantes, des coûts plus élevés et des difficultés techniques peuvent apparaître.

### 6.2 Ecran des lignes internes

L'écran peut être limité au câblage et aux matériels à protéger : écran métallique des câbles, conduits métalliques fermés et enveloppes métalliques des matériels sont utilisés à cette fin.

### 6.3 Cheminement des lignes internes

Un cheminement approprié des lignes internes minimise les boucles d'induction et réduit les surtensions internes dans la structure. La surface de boucle peut être minimisée par un cheminement adjacent aux composants naturels de la structure mis à la terre et/ou un cheminement adjacent des réseaux de puissance et de communication.

NOTE Une distance de séparation entre réseaux de puissance et réseaux de communication non écrantés peut être nécessaire pour éviter des perturbations.

## 6.4 Ecran des lignes externes

L'écran des lignes externes pénétrant dans la structure comprend l'écran des câbles, les conduits métalliques fermés ou en béton armé avec armatures interconnectées. L'écran des lignes externes est utile, mais souvent en dehors de la responsabilité du concepteur des PRPC (car le propriétaire des lignes externes est généralement le fournisseur de réseau).

## 6.5 Matériaux et dimensions des écrans magnétiques

A la frontière des zones ZPF 0<sub>A</sub> et ZPF 1, les matériaux et les dimensions des écrans magnétiques (par exemple écrans spatiaux en grille, écran de câbles ou enveloppes de matériel) doivent satisfaire aux exigences de la CEI 62305-3 relatives aux conducteurs des dispositifs de capture et/ou de descente. En particulier :

- l'épaisseur minimale des feuilles métalliques, des conduits, des canalisations et des écrans des câbles doit satisfaire aux valeurs du Tableau 3 de la CEI 62305-3,
- la configuration et la section minimale des conducteurs de l'écran en grille doivent satisfaire aux valeurs du Tableau 6 de la CEI 62305-3.

Pour les écrans magnétiques qui ne sont pas prévus pour conduire les courants de foudre, la conformité des dimensions des écrans magnétiques aux Tableaux 3 et 6 de la CEI 62305-3 n'est pas requise :

- à la frontière des zones ZPF 1/2 ou au-dessus si la distance de séparation  $s$  entre les écrans magnétiques et le SPF est respectée (voir la CEI 62305-3, 6.3),
- à la frontière de toute ZPF si la composante de risque  $R_D$  due aux éclairs de foudre directs sur la structure est négligeable, c'est-à-dire  $N_D < 0,01$  par an.

## 7 Parafoudres coordonnés

La protection des réseaux internes contre les chocs nécessite une approche systématique consistant en l'utilisation de parafoudres coordonnés à la fois pour les réseaux de puissance et de communication. Les principes de choix et de mise en œuvre de ces parafoudres sont identiques pour les réseaux de puissance et de communication (voir l'Annexe C).

Dans des PRPC, utilisant le concept de zones de protection contre la foudre avec plus d'une zone (ZPF 1, ZPF 2 et plus), les parafoudres doivent être placés au point d'entrée des lignes dans chaque ZPF (voir Figure 2).

Dans des PRPC utilisant seulement une ZPF 1, les parafoudres doivent être placés au moins au point d'entrée de la ligne dans la ZPF 1.

Dans les deux cas, des parafoudres complémentaires peuvent être prescrits si la distance entre le parafoudre et le matériel à protéger est trop longue (voir l'Annexe C).

Les exigences d'essai des parafoudres doivent être conformes à

- la CEI 61643-1 pour les réseaux de puissance,
- la CEI 61643-21 pour les réseaux de signaux et de télécommunication.

L'Annexe C donne des informations sur le choix et la mise en œuvre des parafoudres coordonnés. Le choix et la mise en œuvre des parafoudres coordonnés doivent satisfaire aux normes suivantes :

- la CEI 61643-12 et la CEI 60364-5-53 pour la protection des réseaux de puissance,
- la CEI 61643-22 pour la protection des réseaux de signaux et de télécommunication.

Des informations et des lignes directrices sur l'ampleur des chocs dus à la foudre pour le dimensionnement des parafoudres en divers points de l'installation sont données à l'Annexe D de la présente norme et à l'Annexe E de la CEI 62305-1.

## 8 Interfaces d'isolement

Les interfaces d'isolement peuvent être utilisées pour réduire les effets de l'IEMF. Elles nécessitent une tension de tenue typique de 5 kV avec une forme d'onde de 1,2/50. La protection de ce type d'interfaces contre des surtensions plus élevées peut, si nécessaire, être réalisée en utilisant des parafoudres. Les niveaux de protection  $U_p$  de ces parafoudres doivent être choisis de manière à n'être que légèrement inférieurs à la tension de tenue de l'interface d'isolement. Un niveau de protection inférieur  $U_p$  risque d'enfreindre les exigences de sécurité (voir B.10).

## 9 Gestion d'une PRPC

Afin d'obtenir une protection efficace avec un investissement minimal, il convient que la conception soit réalisée pendant la conception et avant la construction du bâtiment. Ainsi, il est possible d'optimiser l'utilisation des composants naturels de la structure et de choisir le meilleur compromis pour l'emplacement des circuits et des matériels.

Pour les structures existantes, le coût de la PRPC est généralement plus élevé que pour des structures neuves. Toutefois, il est possible d'optimiser le coût par un choix approprié des ZPF et en utilisant les installations existantes ou en les améliorant.

Une protection appropriée ne peut être réalisée que si :

- des dispositions sont définies par un expert en protection contre la foudre,
- une excellente coordination est faite entre les divers experts impliqués dans la construction du bâtiment et la PRPC (par exemple ingénieurs de travaux et électriciens),
- le plan de gestion présenté en 9.1 est suivi.

Les PRPC doivent être maintenues par inspection et par entretien. Si des modifications ont été réalisées dans la structure ou dans les moyens de protection, il convient d'effectuer une nouvelle évaluation des risques.

### 9.1 Plan de gestion d'une PRPC

Le planning et la coordination d'une PRPC nécessitent un plan de gestion (voir le Tableau 2). Cela commence par une évaluation initiale des risques (CEI 62305-2) pour déterminer la nécessité des mesures de protection pour réduire le risque à un niveau tolérable. Pour cela, les zones de protection doivent être définies.

**Tableau 2 – Plan de gestion des PRPC pour des bâtiments neufs et pour des modifications importantes dans la construction ou l'utilisation de bâtiments**

Etape	But	Action à effectuer par
Analyse préliminaire du risque <sup>1)</sup>	Vérification de la nécessité de protection contre l'IEMF  Si nécessaire, choix des mesures de PRPC appropriées par la méthode d'évaluation des risques  Vérification de la réduction du risque après réalisation de chaque mesure de protection successive.	Expert foudre <sup>2)</sup>  Propriétaire
Analyse finale du risque <sup>1)</sup>	Il convient que le rapport coût/bénéfice pour les mesures choisies soit optimisé en utilisant de nouveau la méthode d'évaluation des risques  Comme résultat, sont définis : - le niveau de protection et les paramètres de foudre; - les ZPF et leurs frontières	Expert foudre <sup>2)</sup>  Propriétaire
Planification d'une PRPC	Définition des PRPC : - mesures d'écran spatial - réseaux d'équipotentialité - réseaux de prises de terre - écrans des lignes et cheminement - écrans des services entrants - protection coordonnée par parafoudres	Expert foudre Propriétaire Architecte Concepteurs des réseaux internes Concepteurs des installations considérées
Conception d'une PRPC	Schémas généraux et descriptions Préparation des listes de pièces Schémas détaillés et projets d'installation	Bureau d'études ou équivalent
Installation d'une PRPC y compris le contrôle	Qualité de l'installation Documentation Révision éventuelle des schémas détaillés	Expert foudre Installateur de PRPC Bureau d'études Contrôleur
Approbation d'une PRPC	Vérification et documentation de l'état du réseau	Expert foudre indépendant Contrôleur
Inspections périodiques	Vérification de la conformité de la PRPC	Expert foudre Contrôleur
<sup>1)</sup> Voir la CEI 62305-2.		
<sup>2)</sup> Ayant une vaste connaissance de la CEM et des règles d'installation.		

Conformément aux niveaux de protection définis dans la CEI 62305-1, et les mesures de protection à adopter, les étapes suivantes doivent être réalisées :

- un réseau de prises de terre, comprenant un réseau d'équipotentialité et un dispositif de capture, doit être prévu,
- les parties métalliques externes et les services entrants doivent être mis à la terre soit directement, soit par parafoudres appropriés,
- les réseaux internes doivent être intégrés au réseau d'équipotentialité,
- l'écran spatial associé au cheminement et au blindage peut être mis en place,
- les exigences pour les parafoudres coordonnés doivent être spécifiées,
- pour les structures existantes, des mesures particulières peuvent être nécessaires (voir l'Annexe B).

Après cela, il convient que le rapport prix/bénéfice pour les mesures de protection choisies soit réévalué et optimisé en utilisant à nouveau la méthode d'évaluation des risques.

## **9.2 Inspection d'une PRPC**

L'inspection comprend la vérification de la documentation technique, les vérifications visuelles et les mesures d'essai. Les objectifs d'une inspection sont de vérifier que :

- la PRPC est conforme à sa conception;
- la PRPC est apte à sa fonction;
- toute nouvelle mesure de protection est intégrée de manière correcte dans la PRPC.

Les inspections doivent être effectuées :

- lors de l'installation de la PRPC,
- après l'installation de la PRPC,
- périodiquement,
- après toute détérioration de composants de la PRPC,
- si possible après un coup de foudre sur la structure (identifié par exemple par un compteur de foudre ou par un témoin ou encore si une évidence visuelle est constatée sur un dommage de la structure).

La fréquence des inspections périodiques doit être fixée selon les considérations suivantes :

- l'environnement local, tel que le sol ou l'atmosphère corrosive;
- le type des mesures de protection utilisées.

En l'absence d'exigences spécifiques identifiées par la juridiction compétente, il est recommandé d'utiliser les valeurs données dans le Tableau E.2 de la CEI 62305-3.

### **9.2.1 Procédure d'inspection**

#### **9.2.1.1 Vérification de la documentation technique**

Après l'installation d'une nouvelle PRPC, la documentation technique doit être vérifiée pour contrôler sa conformité avec les normes appropriées, et constater l'achèvement du système. Par suite, la documentation technique doit être mise à jour d'une façon régulière, par exemple après détérioration ou extension de la PRPC.

#### **9.2.1.2 Inspection visuelle**

Une inspection visuelle doit être réalisée pour vérifier que :

- les connexions sont serrées et qu'aucune rupture de conducteur ou de jonction n'existe,
- aucune partie du système n'est fragilisée par la corrosion, particulièrement au niveau du sol,
- les conducteurs de mise à la terre et les écrans de câbles sont intacts,
- il n'existe pas d'ajouts ou de modifications nécessitant une protection complémentaire,
- il n'y a pas de dommages de parafoudres et de leur fusible,
- le cheminement des câbles est maintenu,
- les distances de sécurité aux écrans spatiaux sont maintenues.

#### **9.2.1.3 Mesures**

Pour les parties des mises à la terre et des équipotentialités non visibles lors de l'inspection, il convient que des mesures de continuité électrique soient effectuées.

### **9.2.2 Documentation pour l'inspection**

Il convient de préparer un guide d'inspection pour la rendre plus facile. Il convient que le guide contienne suffisamment d'informations pour aider l'inspecteur dans sa tâche, de manière qu'il puisse documenter tous les aspects de l'installation et des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement des résultats d'essai.

L'inspecteur doit préparer un rapport devant être annexé à la documentation technique et aux précédents rapports d'inspection. Le rapport d'inspection doit comporter les informations relatives à :

- l'état général de la PRPC,
- toute(s) déviation(s) par rapport à la documentation technique,
- les résultats des essais effectués.

### **9.3 Maintenance**

Après l'inspection, tout défaut relevé doit être réparé sans délai et si nécessaire, la documentation technique doit être mise à jour.

## **Annexe A** (informative)

### **Éléments essentiels pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF**

La présente annexe donne des informations pour l'évaluation de l'environnement électromagnétique dans une ZPF, qui peuvent être utilisées, à la fois pour la protection contre l'EMF et pour la protection contre les perturbations électromagnétiques.

#### **A.1 Dégradation par la foudre des réseaux de puissance et de communication**

##### **A.1.1 Source de dégradation**

La source primaire de dégradation est le courant de foudre et son champ magnétique associé, ce dernier ayant la même forme d'onde que le courant de foudre.

NOTE Pour la protection, l'influence du champ électrique de foudre est mineure.

##### **A.1.2 Victimes des dégradations**

Les victimes des dégradations sont les systèmes internes dans et sur la structure, qui présentent une immunité limitée contre les chocs et les champs magnétiques et qui peuvent être soumis aux effets de la foudre et à leurs champs magnétiques associés.

Les matériels à l'extérieur de la structure peuvent être mis en danger par le champ magnétique non amorti et éventuellement par les coups de foudre directs s'ils sont mis en œuvre dans des emplacements exposés.

Les matériels installés dans la structure peuvent être mis en danger par le champ magnétique restant amorti et par les chocs internes conduits ou induits et par les chocs externes conduits par les lignes entrantes.

Pour les informations relatives aux niveaux de tenue de l'installation, il convient de se référer aux normes suivantes :

- Le niveau de tenue de l'installation est défini dans la CEI 60664-1 Tableau 1. Le niveau de tenue est défini par la tension de tenue assignée de choc 1,5 - 2,5 - 4 et 6 kV,
- Le niveau de tenue des matériels de communication est défini dans les UIT-T K.2, K.21 et K.45.

Le niveau de tenue des matériels est généralement défini dans les spécifications de produits d'accompagnement ou peut être soumis à essai :

- l'immunité contre les chocs conduits est démontrée par l'essai indiqué dans la CEI 61000-4-5 avec des niveaux d'essai en tension : 0,5 – 1 – 2 – 4 kV en onde 1,2/50  $\mu$ s avec des courants correspondants de 0,25 – 0,5 – 1 – 2 kA en onde 8/20  $\mu$ s;

NOTE Pour que certains matériels satisfassent aux exigences de la norme ci-dessus, ils peuvent comporter des parafoudres intégrés. Les caractéristiques de ces parafoudres peuvent affecter les exigences de la coordination.

- l'immunité contre les champs magnétiques est définie par l'essai de la CEI 61000-4-9 avec des niveaux d'essai : 100 – 300 – 1 000 A/m en onde 8/20  $\mu$ s et de la CEI 61000-4-10 avec des niveaux d'essai : 10 – 30 – 100 A/m à 1 MHz.

Les matériels non conformes à la radio fréquence (RF), aux émissions radio, et aux essais d'immunité tels que définis dans les normes de produits CEM appropriées peuvent être



soumis à des champs magnétiques rayonnés. Par ailleurs, la défaillance d'un matériel conforme à ces normes peut être négligée.

A.1.3 Mécanismes de couplage entre victime et source de dégradation

Le niveau de tenue du matériel doit être compatible avec la source de dégradation. Pour cela, les mécanismes de couplage doivent être contrôlés de manière appropriée. Cela est réalisé par l'amélioration des zones de protection contre la foudre (ZPF).

A.2 Ecran spatial, cheminement et blindage des lignes

A.2.1 Généralités

Le champ magnétique dû aux coups de foudre directs ou proches de la structure dans des ZPF ne peut être réduit que par un écran spatial des ZPF. Ainsi, les chocs induits dans les réseaux de communication peuvent être minimisés soit par écran spatial, soit par cheminement et blindage ou par association des deux méthodes.

La Figure A.1 constitue un exemple d'IEMF en cas d'impact de foudre sur la structure et montre les zones de protection contre la foudre ZPF 0, ZPF 1 et ZPF 2. Les réseaux de communication à protéger sont situés dans la ZPF 2.

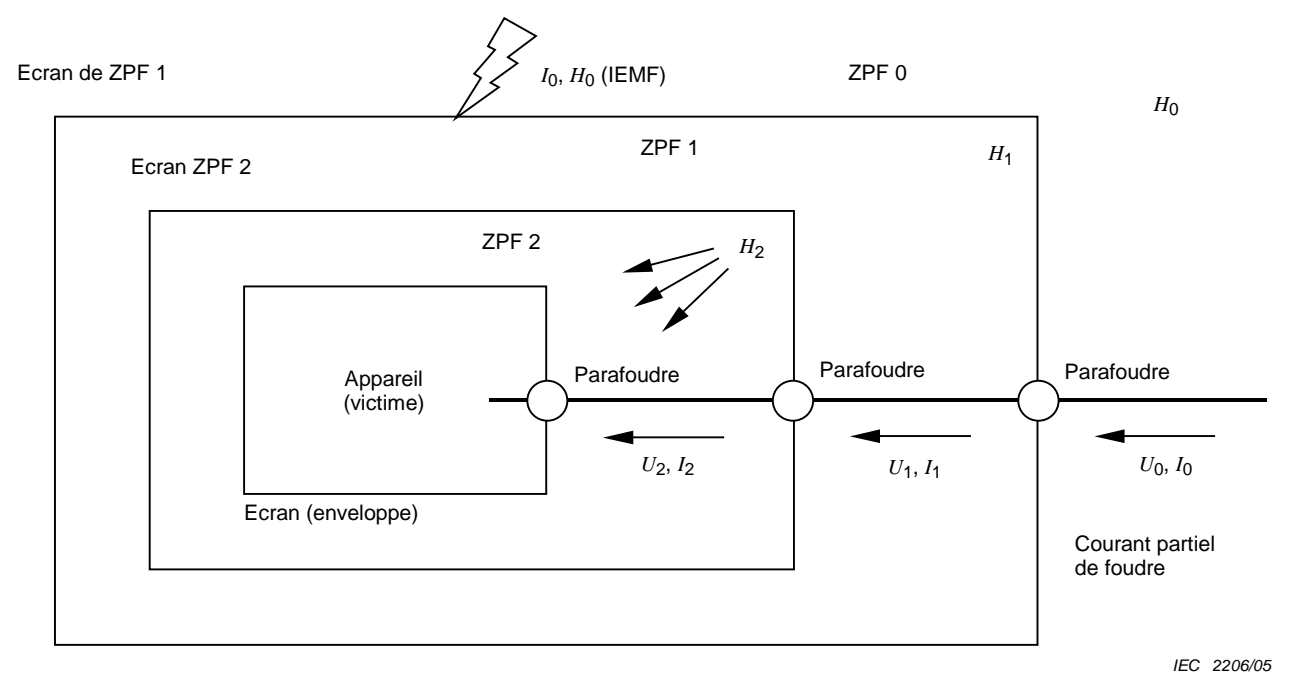


Figure A.1 – Situation de l’IEMF due à un impact de foudre

1. Source primaire de dégradation – IEMF

Définie à partir des paramètres des niveaux de protection de I à IV :

		Choc μs	Amplitude pour NPF I – II – III - IV kA	Raideur pour NPF I – II – III - IV kA/μs	Effets correspondants sur :
CEI 62305-1	$I_0$	10/350 1/200 0,25/100	200 - 150 - 100 - 100 100 - 75 - 50 - 50 50 - 37,5 - 25 - 25	20 - 15 - 10 - 10 100 - 75 - 50 - 50 200 - 150 - 100 - 100	Courant partiel de foudre Induction Induction
	$H_0$	Dédruit de $I_0$ correspondant			

**2. Tenue aux chocs de l'installation de puissance**

Définie par la catégorie d'installation I à IV pour des tensions nominales 230/400 V et 277/480 V:

CEI 60664-1       $U$       catégorie d'installation I à IV      6 – 4 – 2,5 – 1,5 kV

**3. Tenue aux chocs des installations de communication**

Recommandations UIT K.20, UIT K.21 et UIT K.45

**4. Essais pour matériels sans normes appropriées de produits**

Niveau de tenue des matériels défini pour les effets conduits de foudre ( $U, I$ ) :

CEI 61000-4-5	$U_{OC}$	choc 1,2/50 $\mu$ s	4 – 2 – 1 – 0,5 kV
	$I_{SC}$	choc 8/20 $\mu$ s	2 – 1 – 0,5 – 0,25 kA

**5. Essais pour matériels non conformes aux normes de produits CEM applicables**

Niveau de tenue des matériels défini pour les effets de foudre rayonnés ( $H$ ) :

CEI 61000-4-9	$H$	choc 8/20 $\mu$ s,	1 000 – 300 – 100 A/m
		(oscillations amorties 25 kHz), $T_n = 10 \mu$ s	
CEI 61000-4-10	$H$	choc 0,2/0,5 $\mu$ s,	100 – 30 – 10 A/m
		(oscillations amorties 1 MHz), $T_n = 0,25 \mu$ s	

Note 1 : La CEI 61000-4-10 traite essentiellement des influences des champs dues aux surtensions de commutation.

Note 2 : La série CEI 61000 tient compte de l'immunité dans le cadre de l'essai de perte temporaire de tenue de matériels mis sous tension à des chocs de faible niveau. Les courants de foudre partiels ou directs non couverts par la CEI 61000 peuvent engendrer des dommages permanents du matériel lorsque la tenue d'isolation du matériel est dépassée. La protection contre les courants de foudre partiels ou directs est couverte par la CEI 61643-12. Il convient que les parafoudres choisis assurent un niveau de protection  $U_p$  inférieur à la tenue aux chocs du matériel, ou, inférieur au niveau d'immunité du matériel lorsque le fonctionnement continu du matériel est critique.

La source électromagnétique primaire de perturbations pour les réseaux de communication est le courant de foudre  $I_0$  et le champ magnétique  $H_0$ . Les courants de foudre partiels s'écoulent dans les services entrants. Ces courants et le champ magnétique ont approximativement la même forme d'onde. Le courant de foudre à prendre en compte est le courant du premier coup  $I_f$  (généralement avec une forme d'onde de longue queue de 10/350  $\mu$ s), le courant du premier coup négatif  $I_{fn}$  (forme d'onde de 1/200  $\mu$ s) et les courants des coups consécutifs  $I_s$  (forme d'onde 0,25/100  $\mu$ s). Le courant de premier coup  $I_f$  génère le champ magnétique  $H_f$ , le courant de premier coup négatif  $I_{fn}$  génère le champ magnétique  $H_{fn}$ , et les courants des coups consécutifs  $I_s$  génèrent le champ magnétique  $H_s$ .

Les effets d'induction magnétique sont essentiellement déterminés par l'élévation du champ magnétique. Comme indiqué à la Figure A.2, le temps de montée de  $H_f$  peut être caractérisé par un champ oscillatoire amorti de 25 kHz avec une valeur maximale de  $H_{f/\max}$  et une durée jusqu'à la valeur maximale  $T_{p/f}$  de 10  $\mu$ s. De même, le temps de montée de  $H_s$  peut être caractérisé par un champ oscillatoire amorti de 1 MHz avec une valeur maximale de  $H_{s/\max}$  et une durée jusqu'à la valeur maximale  $T_{p/s}$  de 0,25  $\mu$ s. De même, le temps de montée de  $H_{fn}$  peut être caractérisé par un champ oscillatoire amorti de 250 kHz avec une valeur maximale de  $H_{fn/\max}$  et une durée jusqu'à la valeur maximale  $T_{p/fn}$  de 1  $\mu$ s.

Ainsi, le champ magnétique du premier coup peut être caractérisé par une fréquence typique de 25 kHz, le champ magnétique du premier coup négatif peut être caractérisé par une fréquence typique de 250 kHz, et le champ magnétique des coups consécutifs peut être caractérisé par une fréquence typique de 1 MHz. Les champs oscillatoires amortis pour ces fréquences sont définis pour des essais dans la CEI 61000-4-9 et dans la CEI 61000-4-10.

En installant des écrans magnétiques et des parafoudres aux interfaces des ZPF, les effets non amortis de la foudre définis par  $I_0$  et  $H_0$  sont réduits jusqu'au niveau de tenue du matériel. Comme indiqué à la Figure A.1, il convient que le matériel résiste au champ magnétique environnant  $H_2$  et aux courants conduits de foudre  $I_2$  et aux tensions  $U_2$ .

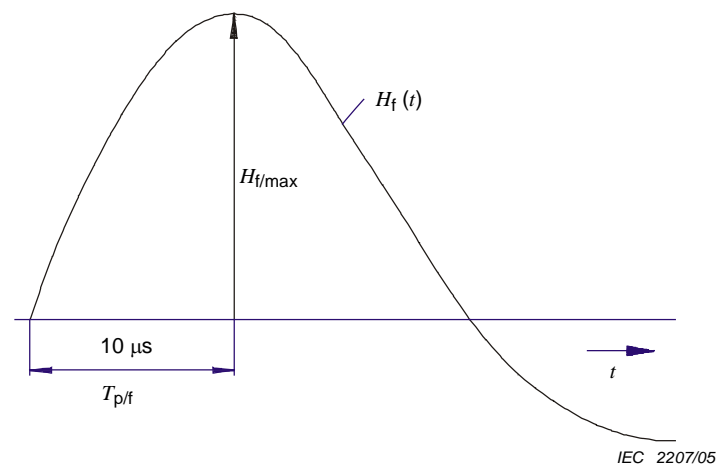
La réduction de  $I_1$  à  $I_2$  et des tensions résultantes  $U_1$  et  $U_2$  est traitée dans l'Annexe C. La réduction de  $H_0$  à une valeur suffisamment faible de  $H_2$  est traitée comme suit :

Dans le cas des écrans spatiaux en grille, il est supposé que la forme d'onde du champ magnétique dans les ZPF ( $H_1$ ,  $H_2$ ) est la même qu'à l'extérieur ( $H_0$ ).

La Figure A.2 montre les formes d'ondes amorties d'oscillation des essais définis dans la CEI 61000-4-9 et dans la CEI 61000-4-10 et peut être utilisée pour déterminer la tenue des matériels aux champs magnétiques créés par l'élévation du champ magnétique lors du premier coup  $H_f$  et des coups consécutifs  $H_s$ .

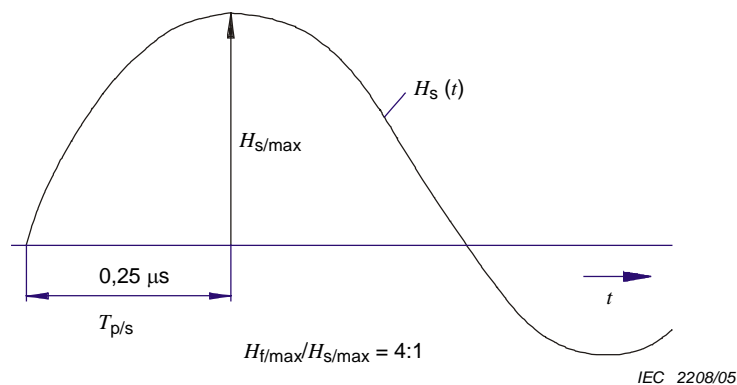
Il convient que les chocs induits dus au champ magnétique couplé à la boucle d'induction (voir Article A.4) soient inférieurs ou égaux à la tenue du matériel.

#### Norme fondamentale: CEI 61000-4-9



**Figure A.2a – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à un premier coup (10/350  $\mu s$ ) par un seul choc 8/20  $\mu s$  (oscillations amorties à 25 kHz)**

#### Norme fondamentale: CEI 61000-4-10



**Figure A.2b – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à un coup consécutif (0,25/100  $\mu s$ ) par des oscillations amorties de 1 MHz (chocs multiples 0,2/0,5  $\mu s$ )**

NOTE 1 Bien que les définitions du temps jusqu'à la valeur maximale  $T_p$  et du temps de montée  $T_1$  soient différentes, leurs valeurs numériques sont prises égales à celles données ici pour une approche appropriée.

NOTE 2 Le rapport des valeurs maximales est  $H_{f/\max} / H_{f/\max} / H_{s/\max} = 4 : 2 : 1$

**Figure A.2 – Simulation de l'élévation du champ magnétique due à des oscillations amorties**

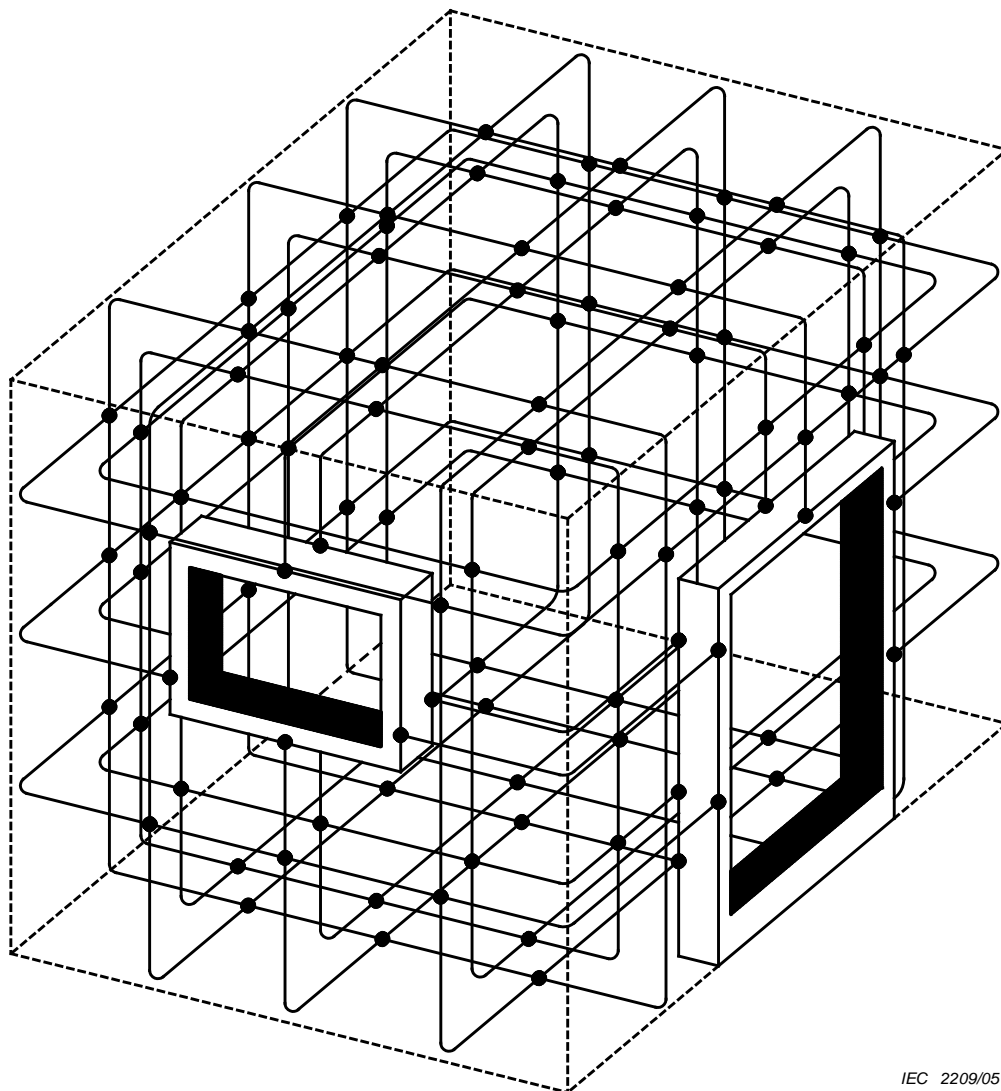
### A.2.2 Ecrans spatiaux en grille

En pratique, les écrans à large volume des ZPF sont constitués de composants naturels de la structure tels que supports ou ossatures métalliques des plafonds, murs et planchers, toits ou façades métalliques. Ces composants constituent un écran spatial en grille. Un écran efficace requiert généralement des dimensions de mailles inférieures à 5 m.

NOTE 1 Ainsi, l'effet d'écran peut être négligeable si une ZPF1 est créée par une extension normale de ZPF conformément à la CEI 62305-3 avec des dimensions de mailles et des distances typiques supérieures à 5 m. Un bâtiment avec des ossatures métalliques et des structures en acier assure un effet d'écran de grande portée.

NOTE 2 Des écrans dans les ZPF consécutives peuvent être réalisés soit par des mesures d'écran spatial de l'ensemble soit par des tiroirs ou armoires métalliques fermés ou par les couvertures métalliques de l'appareil.

La Figure A.3 montre comment, en pratique, les armatures du béton et les ossatures métalliques (pour des portes métalliques et d'éventuelles fenêtres écrantées) peuvent constituer un écran à large volume pour un bâtiment ou une pièce.



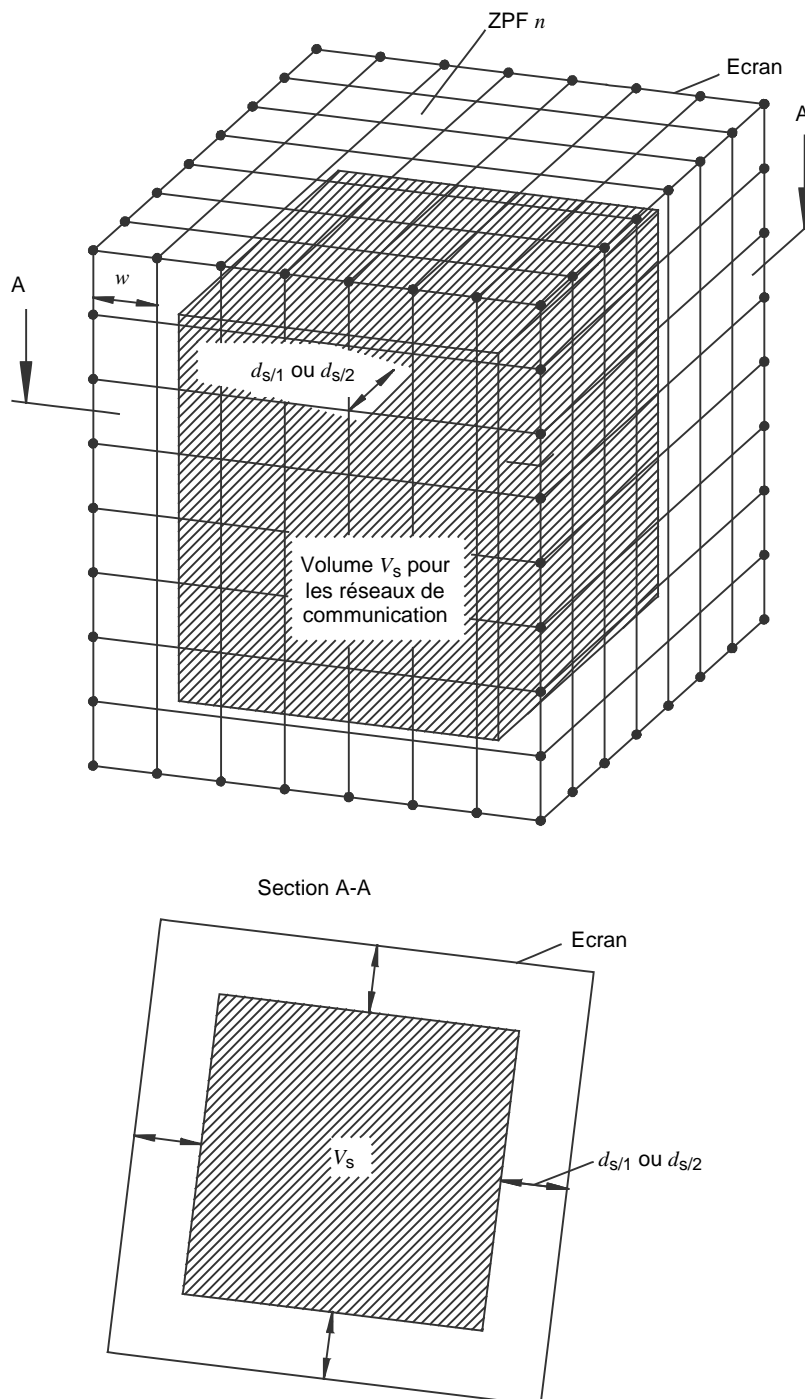
IEC 2209/05

- Soudées ou fixées sur chaque tige et aux croisements.

NOTE En pratique, il n'est pas possible, pour des structures étendues, de réaliser une soudure ou une fixation en chaque point. Toutefois, la plupart des points sont naturellement interconnectés par des rapprochements renforcés ou par des ligatures. Une approche pratique pourrait être de réaliser une connexion environ tous les 1 m.

**Figure A.3 – Ecran à large volume réalisé par armatures et ossatures métalliques**

Il convient de mettre en œuvre les réseaux de communication dans des «volumes sûrs» en respectant les distances de sécurité vis-à-vis de l'écran de la ZPF (voir Figure A.4). Cela est dû aux valeurs relativement élevées du champ magnétique à proximité de l'écran engendré par l'écoulement du courant de foudre partiel dans l'écran (particulièrement dans une ZPF 1).



IEC 2210/05

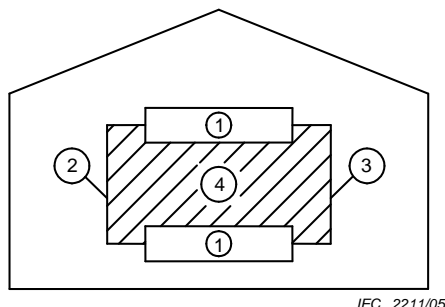
NOTE Il convient que le volume  $V_s$  conserve une distance de sécurité  $d_{s/1}$  ou  $d_{s/2}$  par rapport à l'écran de ZPF  $n$  – voir A.3.

**Figure A.4 – Volume pour les réseaux de puissance et de communication d'une ZPF  $n$  intérieure**

### A.2.3 Cheminement et blindage des lignes

Les chocs induits dans les réseaux de communication peuvent être réduits par des cheminements appropriés (diminuant les surfaces de boucle d'induction) ou par utilisation de câbles écrantés ou de conduits métalliques (diminuant les effets inductifs internes), ou une association des deux (voir Figure A.5).

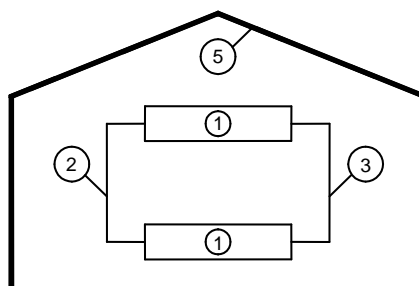
- 1. Matériel
- 2. Câble de communication
- 3. Câble de puissance
- 4. Boucle d'induction



IEC 2211/05

**Figure A.5a - Système non protégé**

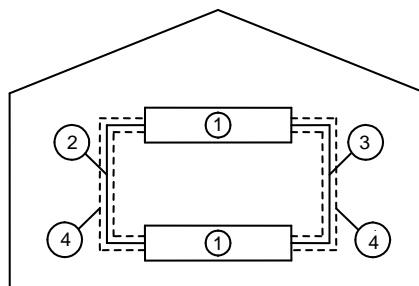
- 1. Matériel
- 2. Câble de communication
- 3. Câble de puissance
- 5. Ecran spatial



IEC 2212/05

**Figure A.5b - Réduction du champ magnétique dans une ZPF intérieure par écran spatial**

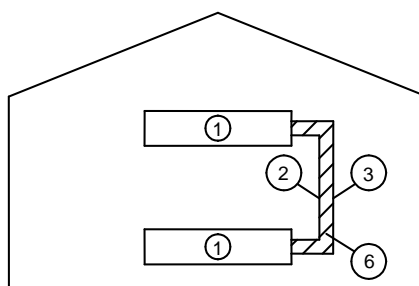
- 1. Matériel
- 2. Câble de communication
- 3. Câble de puissance
- 4. Ecran de ligne



IEC 2213/05

**Figure A.5c - Réduction de l'influence du champ sur les lignes par écran**

- 1. Matériel
- 2. Câble de communication
- 3. Câble de puissance
- 6. Surface réduite de la boucle



IEC 2214/05

**Figure A.5d - Réduction de la surface de la boucle d'induction par cheminement approprié**

**Figure A.5 – Réduction des effets d'induction par des dispositions de cheminement et d'écran**

Il convient que les câbles conducteurs connectés aux réseaux de communication soient aussi proches que possible des composants métalliques du réseau d'équipotentialité. Il est recommandé d'utiliser pour ces câbles les conduits métalliques du réseau d'équipotentialité, par exemple des conduits en U ou réseaux métalliques (voir aussi la CEI 61000-5-2).

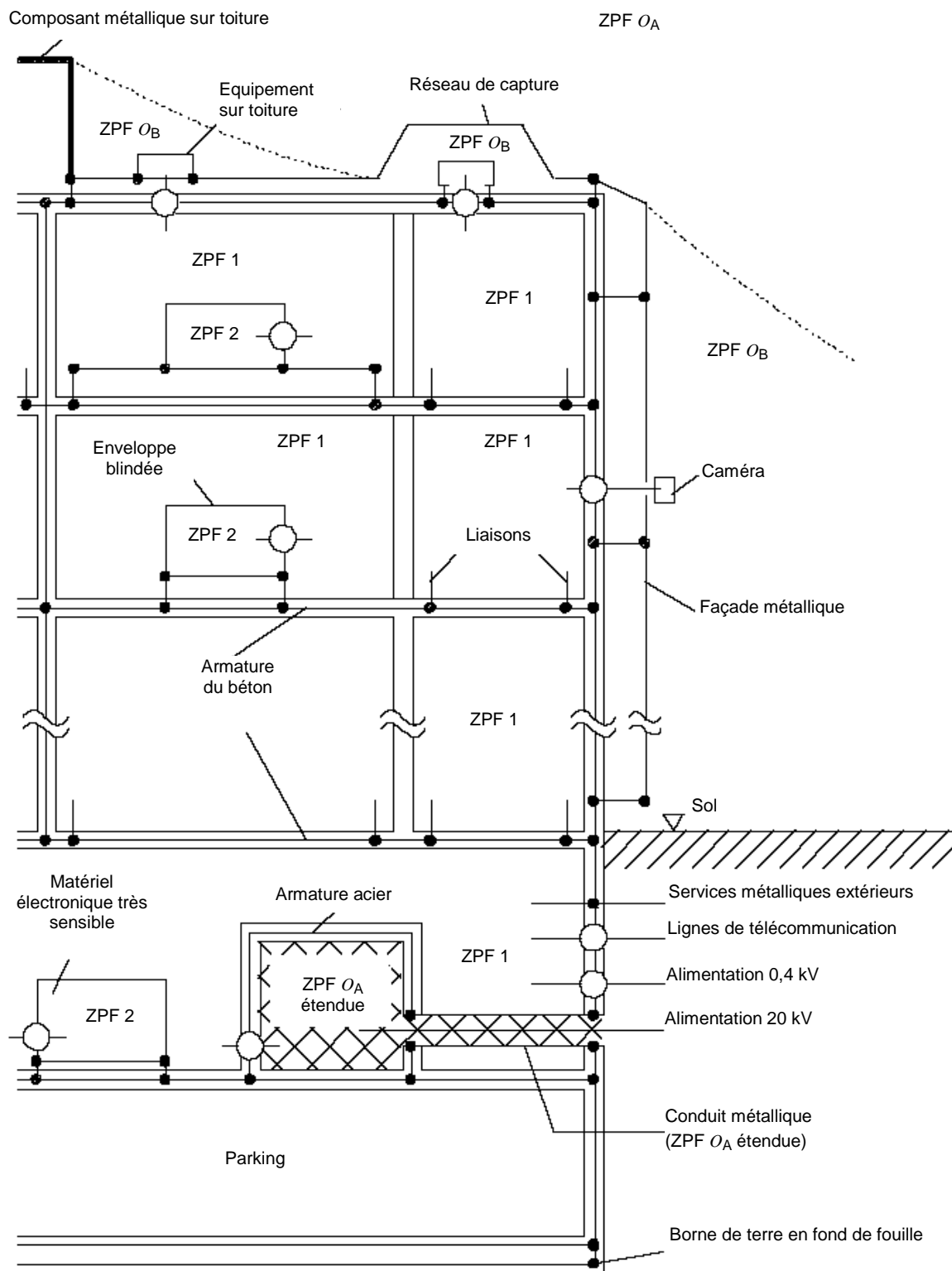
A proximité de l'écran des ZPF (particulièrement la ZPF 1), il convient de porter une attention particulière à la mise en œuvre des câbles métalliques en raison de la valeur élevée des champs magnétiques.

Si des câbles entre les structures séparées doivent être protégés, il convient qu'ils soient dans des conduits métalliques reliés à la terre à leurs deux extrémités aux bornes d'équipotentialité des structures séparées. Si les écrans des câbles (reliés à la terre) peuvent supporter le courant partiel de foudre présumé, des conduits métalliques additionnels ne sont pas nécessaires.

Les tensions et courants induits dans les boucles de l'installation conduisent à des chocs conduits (en mode commun) pour le réseau de communication. Pour le calcul de ces tensions et courants induits, voir Article A.4.

La Figure A.6 donne un exemple d'un grand immeuble de bureaux :

- L'écran est réalisé pour la ZPF 1 par des armatures en acier et des façades métalliques et, pour les réseaux de communication sensibles dans la ZPF 2, par des enveloppes blindées. Afin de réaliser un réseau maillé serré, plusieurs connexions sont prévues dans chaque local.
- La ZPF 0 est étendue à la ZPF 1 pour envelopper l'alimentation de 20 kV. Cela est un cas particulier où l'installation de parafoudres immédiatement à l'entrée du réseau haute tension n'est pas possible.



IEC 2215/05

- Liaison équipotentielle
- O Parafoudre

Figure A.6 – Exemple de PRPC d'un immeuble de bureaux



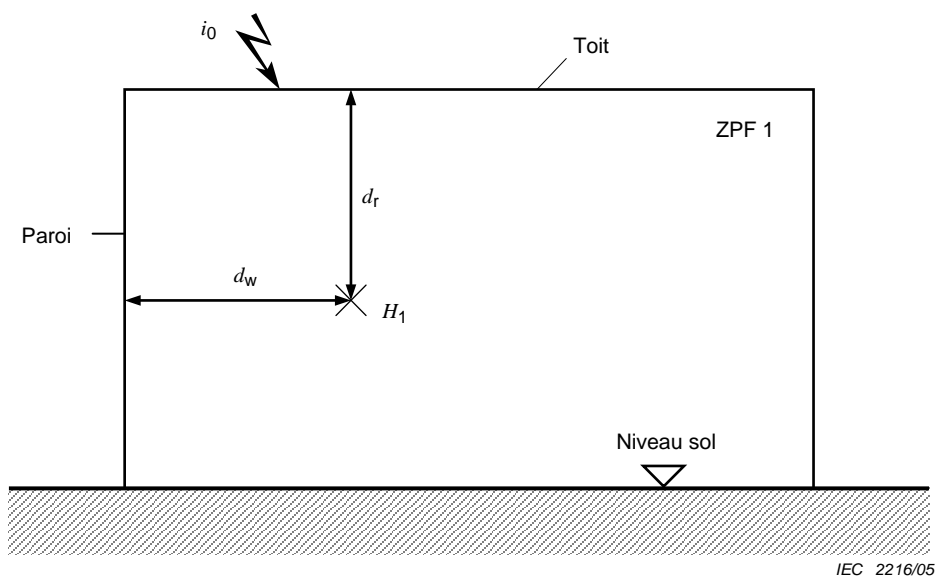
### A.3 Champs magnétiques dans les ZPF

#### A.3.1 Approximation du champ magnétique dans les ZPF

Si une étude théorique (voir Article A.3.2) ou expérimentale (voir Article A.3.3) de l'efficacité du blindage n'est pas effectuée, il convient de calculer l'atténuation comme suit.

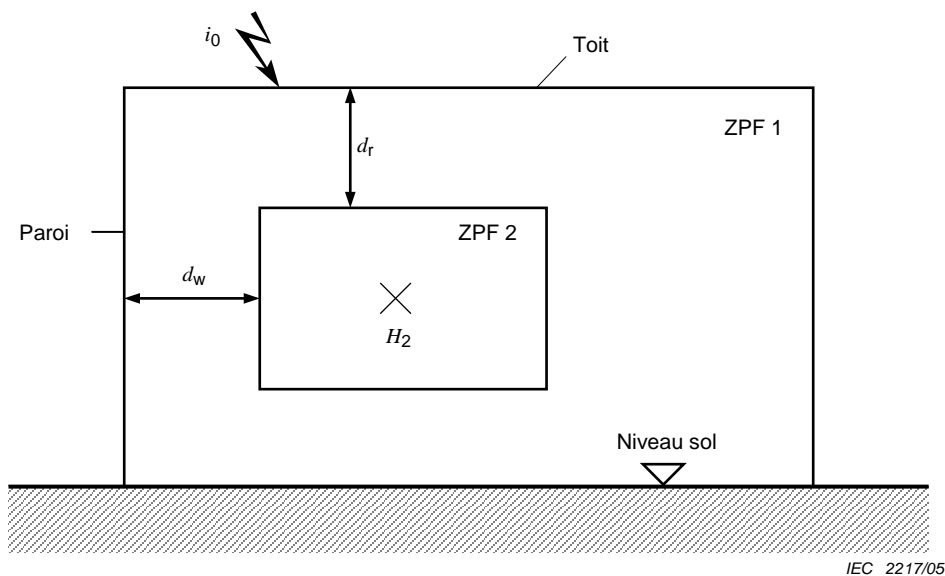
##### A.3.1.1 Ecrans spatiaux en grille de ZPF 1 en cas de coup de foudre direct

L'écran d'un bâtiment (entourant une ZPF 1) peut être une partie du SPF extérieur et donc écouler des courants de foudre en cas de coup de foudre direct. La Figure A.7a montre une telle situation en supposant que la foudre peut atteindre la structure en un point arbitraire de la toiture.



NOTE Les distances  $d_w$  et  $d_r$  sont déterminées pour le point considéré.

**Figure A.7a – Champ magnétique dans une ZPF 1**



NOTE Les distances  $d_w$  et  $d_r$  sont déterminées pour la frontière de la ZPF 2.

**Figure A.7b – Champ magnétique dans la ZPF 2**

**Figure A.7 – Evaluation du champ magnétique en cas de coup de foudre direct**

Pour la force du champ magnétique  $H_1$  en un point arbitraire dans la ZPF 1, la formule suivante s'applique :

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

où

$d_r$  est la distance la plus courte, en mètres, entre le point considéré et le toit de l'écran de la ZPF 1 ;

$d_w$  est la distance la plus courte, en mètres, entre le point considéré et la paroi de l'écran de la ZPF 1 ;

$i_0$  est le courant de foudre dans la ZPF 0<sub>A</sub>, en A ;

$k_H$  est le facteur de configuration  $(1/\sqrt{m})$ , généralement  $k_H = 0,01 (1/\sqrt{m})$  ;

$w$  est la taille de maille de l'écran en grille de la ZPF 1, en m.

Le résultat de cette formule donne la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 (prendre en compte la Note ci-après) :

- due au premier coup :  $H_{1/f/\max} = k_H \cdot I_{f/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.2})$

- due au premier coup négatif :  $H_{1/fn/\max} = k_H \cdot I_{fn/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.3})$

- due aux coups consécutifs :  $H_{1/s/\max} = k_H \cdot I_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.4})$

où

$I_{f/\max}$  est la valeur maximale du courant du premier coup, en ampères, choisie conformément au niveau de protection ;

$I_{fn/\max}$  est la valeur maximale du courant du premier coup négatif, en ampères, choisie conformément au niveau de protection,

$I_{s/\max}$  est la valeur maximale du courant des coups consécutifs, en ampères, choisie conformément au niveau de protection.

NOTE Le champ est réduit d'un facteur 2 en cas de réseau équipotentiel maillé conformément à l'article 5.2.

Les valeurs du champ magnétique ne sont valables que pour les volumes de sécurité  $V_s$  dans les écrans en grille avec une distance de sécurité  $d_{s/1}$  depuis l'écran (voir Figure A.4):

$$d_{s/1} = w \cdot SF / 10 \quad (\text{m}) \quad \text{pour } SF \geq 10 \quad (\text{A.5})$$

$$d_{s/1} = w \quad (\text{m}) \quad \text{pour } SF < 10 \quad (\text{A.6})$$

où :

$SF$  est le facteur d'écran évalué à partir de la formule du Tableau A.2 (dB)

$w$  est la largeur de la maille de l'écran en grille (m)

NOTE Les résultats expérimentaux du champ magnétique dans une ZPF 1 avec un écran en grille indiquent que l'augmentation du champ magnétique à proximité de l'écran est inférieure à la valeur obtenue des équations ci-dessus.

**Exemples :**

Comme exemple, trois écrans en grille en cuivre dont les dimensions sont indiquées au Tableau A.1, et ayant une taille moyenne de maille de  $w = 2$  m (voir Figure A.10) sont étudiés. Les résultats donnent une distance de sécurité  $d_{s/1} = 2,0$  m, définissant un volume de sécurité  $V_s$ . Les valeurs pour  $H_{1/\max}$  valables dans le volume  $V_s$  sont calculées pour  $i_{0/\max} = 100$  kA et indiquées dans le Tableau A.1. La distance jusqu'au toit est la moitié de la hauteur :  $d_r = H/2$ .

La distance à la paroi est la moitié de la longueur :  $d_w = L/2$  (centre) ou égale à :  $d_w = d_{s/1}$  (cas le plus défavorable à proximité de la paroi).

Tableau A.1 – Exemples pour  $i_{0/\max} = 100 \text{ kA}$  et  $w = 2 \text{ m}$

Type d'écran (voir Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	$H_{1/\max}$ (centre) A/m	$H_{1/\max} (d_w = d_{s/1})$ A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

A.3.1.2 Ecrans spatiaux en grille de la ZPF 1 en cas de coup de foudre proche

Dans le cas d'un coup de foudre proche, la situation est présentée à la Figure A.8. Le champ magnétique incident dans le volume blindé de la ZPF 1 peut être assimilé à une onde plane.

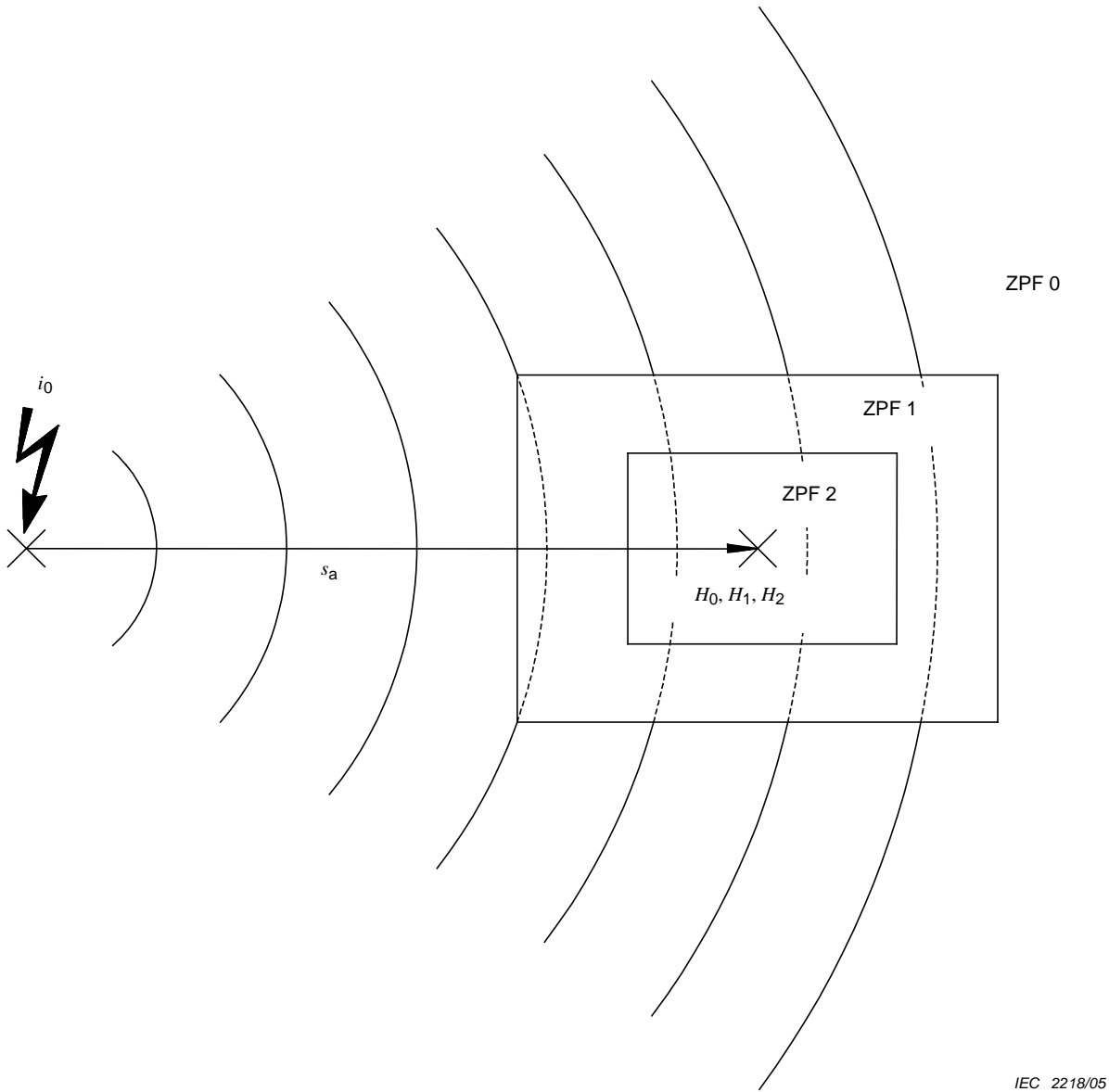


Figure A.8 – Evaluation du champ magnétique dans le cas de coup de foudre proche

Les facteurs d'écran  $SF$  des écrans spatiaux en grille pour une onde plane sont donnés dans le Tableau A.2 ci-après.

**Tableau A.2 – Atténuation magnétique des écrans spatiaux en grille dans le cas d'une onde plane**

Matériau	$SF$ (dB) (voir Notes 1 et 2)	
	25 kHz (pour le premier coup)	1 MHz (pour les coups consécutifs)
Cuivre ou aluminium	$20 \cdot \log (8,5/w)$	$20 \cdot \log (8,5/w)$
Acier (voir Note 3)	$20 \cdot \log \left[ (8,5/w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2} \right]$	$20 \cdot \log (8,5/w)$
$w$ largeur de maille de l'écran en grille (m). $r$ rayon d'une tige de l'écran en grille (m).		
NOTE 1 $SF = 0$ si le résultat obtenu par la formule est négatif.		
NOTE 2 $SF$ augmente de 6 dB si un réseau maillé de terre est mis en œuvre conformément à l'article 5.2		
NOTE 3 Perméabilité $\mu_r \approx 200$ .		

Le champ magnétique incident  $H_0$  est calculé ainsi :

$$H_0 = i_0 / (2\pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.7})$$

où

$i_0$  est le courant de foudre dans la ZPF 0<sub>A</sub> en ampères ;

$s_a$  est la distance entre le point d'impact et le centre du volume protégé considéré, en mètres.

Ce qui donne pour la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 0 :

$$\text{- due au premier coup :} \quad H_{0/f/\max} = I_{f/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.8})$$

$$\text{- due au premier coup négatif :} \quad H_{0/fn/\max} = I_{fn/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.9})$$

$$\text{- due aux coups consécutifs :} \quad H_{0/s/\max} = I_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.10})$$

où

$I_{f/\max}$  (A) est la valeur maximale du courant du premier coup, choisie selon le niveau de protection, en ampères

$I_{fn/\max}$  (A) est la valeur maximale du courant du premier coup négatif, choisie selon le niveau de protection, en ampères

$I_{s/\max}$  (A) est la valeur maximale du courant des coups consécutifs, choisie selon le niveau de protection, en ampères

La réduction de  $H_0$  à  $H_1$  dans la ZPF 1 peut être donnée par les formules des valeurs de  $SF$  indiquées dans le Tableau A.2 :

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.11})$$

où

$SF$  (dB) est le facteur d'écran obtenu à partir des formules du Tableau A.2

$H_{0/\max}$  est le champ magnétique dans la ZPF 0, en A/m.

Par suite, on peut calculer la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 :

$$\text{- due au premier coup :} \quad H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.12})$$

$$\text{- due au premier coup négatif :} \quad H_{1/fn/\max} = H_{0/fn/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.13})$$

$$\text{- due aux coups consécutifs :} \quad H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.14})$$

Ces valeurs de champ magnétique ne sont valables que pour le volume de sécurité  $V_s$  à l'intérieur de l'écran en grille avec une distance de sécurité  $d_{s/2}$  à partir de l'écran (voir Figure A.4) :

$$d_{s/2} = w^{SF/10} \text{ (m) pour } SF \geq 10 \quad (\text{A.15})$$

$$d_{s/2} = w \text{ (m) pour } SF < 10 \quad (\text{A.16})$$

où

$SF$  est le facteur d'écran obtenu à partir des formules du Tableau A.2, en décibels

$w$  est la largeur de la maille de l'écran en grille, en mètres.

Pour des informations complémentaires sur le calcul du champ magnétique dans les écrans en grille en cas de coup de foudre proche, voir Article A.3.3.

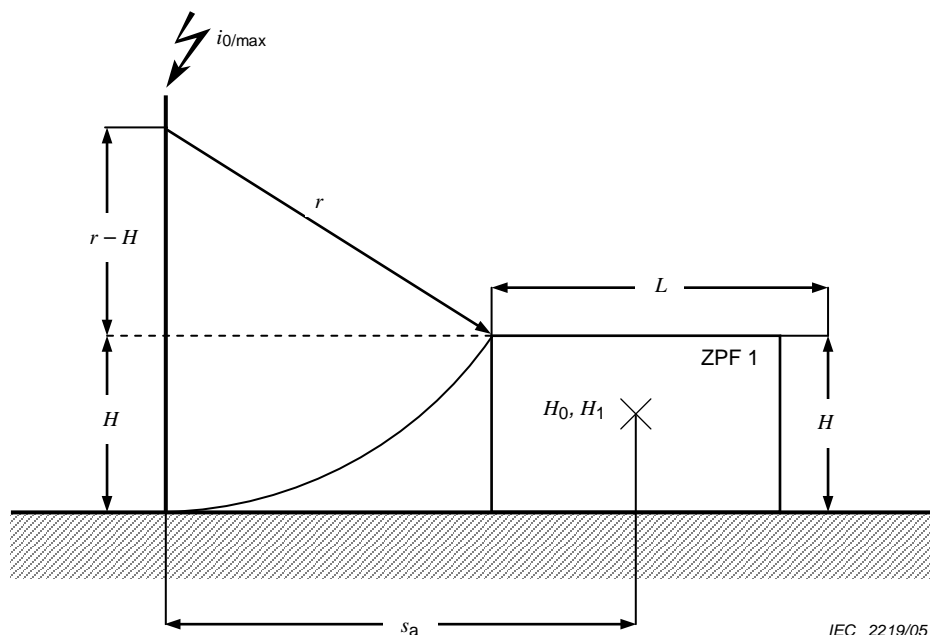
### Exemples :

La force du champ magnétique  $H_{1/\max}$  dans la ZPF 1 en cas d'impacts de foudre proches dépend du courant de foudre  $I_{0/\max}$ , du facteur d'écran  $SF$  de la ZPF 1 et de la distance  $s_a$  entre le canal de foudre et le centre de la ZPF 1 (voir Figure A.8).

Le courant de foudre  $I_{0/\max}$  dépend du niveau de protection choisi (voir la CEI 62305-1). Le facteur d'écran  $SF$  (voir Tableau A.2) est essentiellement fonction de la largeur des mailles de l'écran en grille. La distance  $s_a$  est :

- soit une distance donnée entre le centre de la ZPF 1 et un objet proche (par exemple mât) dans le cas d'impact sur cet objet, ou
- la distance minimale entre le centre de la ZPF 1 et le canal de foudre en cas d'impact sur le sol proche de la ZPF 1.

Le cas le plus défavorable est le courant de foudre le plus élevé  $i_{0/\max}$  associé à la distance  $s_a$  la plus faible. Comme indiqué à la Figure A.9, la distance minimale  $s_a$  est fonction de la hauteur  $H$  et de la longueur  $L$  (ou de la largeur  $W$ ) de la structure (ZPF 1) et du rayon de la sphère fictive  $R$  correspondant à  $I_{0/\max}$  (voir Tableau A.3), défini par le modèle électro-géométrique (voir la CEI 62305-1, A.4).



**Figure A.9 – Distance  $s_a$  en fonction du rayon de la sphère fictive et des dimensions de la structure**

La distance peut être calculée comme suit :

$$s_a = \sqrt{2 \cdot R \cdot H - H^2} + L/2 \quad \text{pour } H < R \quad (\text{A.17})$$

$$s_a = R + L/2 \quad \text{pour } H \geq R \quad (\text{A.18})$$

NOTE Pour des distances inférieures à ces valeurs minimales, la foudre atteint directement la structure.

Trois écrans typiques peuvent être définis dont les dimensions sont données au Tableau A.4. Pour un écran en grille en cuivre, on admettra une taille moyenne de maille  $w = 2$  m. Les résultats donnent pour un facteur d'écran  $SF = 12,6$  dB et pour une distance de sécurité  $d_{s/2} = 2,5$  m, définissant un volume de sécurité  $V_s$ . Les valeurs de  $H_{0/\max}$  et  $H_{1/\max}$ , valables dans le volume  $V_s$  sont calculées pour  $I_{0/\max} = 100$  kA et indiquées au Tableau A.4.

**Tableau A.3 – Rayon de la sphère fictive correspondant au courant maximal de foudre**

Niveau de protection	Courant maximal de foudre $I_{0/\max}$ kA	Rayon de la sphère fictive $R$ m
I	200	313
II	150	260
III- IV	100	200

**Tableau A.4 – Exemples pour  $i_{0/\max} = 100$  kA et  $w = 2$  m correspondant à  $SF = 12,6$  dB**

Type d'écran (voir Figure A.10)	$L \times W \times H$ m	$S_a$ m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	$10 \times 10 \times 10$	67	236	56
2	$50 \times 50 \times 10$	87	182	43
3	$10 \times 10 \times 50$	137	116	27

### A.3.1.3 Ecrans spatiaux en grille pour une ZPF 2 ou d'ordre supérieur

Pour les écrans en grille entourant des ZPF 2 ou d'ordre supérieur, aucun courant de foudre partiel significatif ne s'écoulera. C'est pourquoi, en première approche, la réduction de  $H_n$  à  $H_{n+1}$  dans la ZPF n+1 peut être calculée comme dans l'Article A.3.1.2, pour les coups de foudre proches :

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.19})$$

où

$SF$  est le facteur d'écran obtenu à partir du Tableau A.2, en décibels

$H_n$  est le champ magnétique dans la ZPF n, en ampères par mètre.

Si  $H_n = H_1$ , la valeur du champ peut être déterminée comme suit :

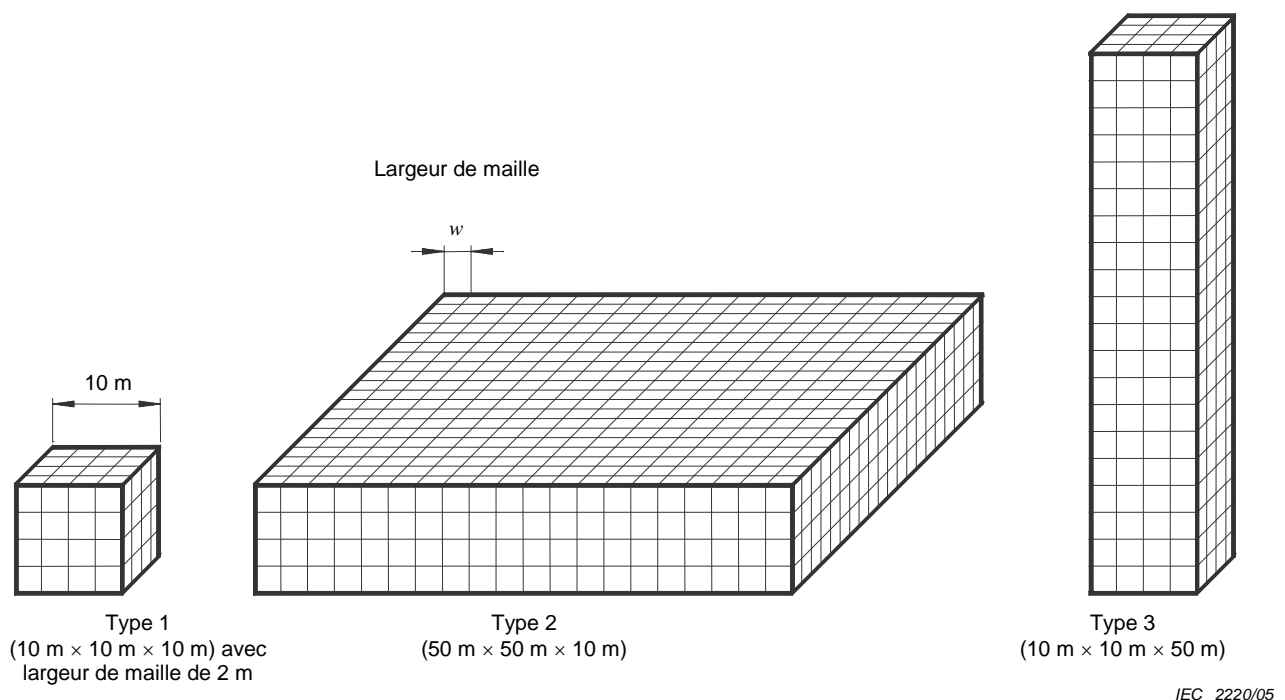
- en cas de coup de foudre direct sur l'écran en grille de la ZPF 1, voir l'Article A.3.1.1 et la Figure A.7b,  $d_w$  et  $d_r$  sont les distances entre l'écran de la ZPF 2 et respectivement les parois et le toit.

- en cas de coup de foudre proche de l'écran de la ZPF 1, voir l'Article A.3.1.2 et la Figure A.8.

Les valeurs du champ magnétique ne sont valables que pour les volumes de sécurité  $V_s$  dans les écrans en grille définis avec une distance de sécurité  $d_{s/2}$  depuis l'écran (définie à l'Article A.3.1.2 (voir Figure A.4)).

### A.3.2 Evaluation théorique du champ magnétique dû aux coups de foudre directs

Dans l'Article A.3.1.1, les formules d'évaluation de la force du champ magnétique  $H_{1/\max}$  se fondent sur les calculs numériques du champ magnétique dans les cas de trois écrans en grille typiques représentés à la Figure A.10. Pour ces calculs, un coup de foudre sur un des rebords du toit est pris en compte. Le canal de foudre est simulé par une tige verticale conductrice de longueur 100 m au-dessus du toit. Le sol est simulé par un plateau conducteur idéal.



**Figure A.10 – Types de volumes d'écrans en grille de grandes dimensions**

Pour le calcul, le couplage magnétique de toute tige de l'écran en grille avec toute autre tige, y compris avec le canal de foudre simulé, est considéré, cela aboutissant à un système d'équations pour le calcul de la distribution du courant de foudre dans l'écran. Le champ magnétique dans l'écran se déduit de la distribution du courant de foudre. La résistance des tiges peut être négligée. Ainsi, la distribution du courant dans l'écran en grille et le champ magnétique sont indépendants de la fréquence. Le couplage capacitif est aussi négligé de manière à ne pas faire apparaître les effets transitoires.

Pour l'écran de Type 1 présenté à la Figure A.10, les résultats sont indiqués dans les Figures A.11 et A.12.

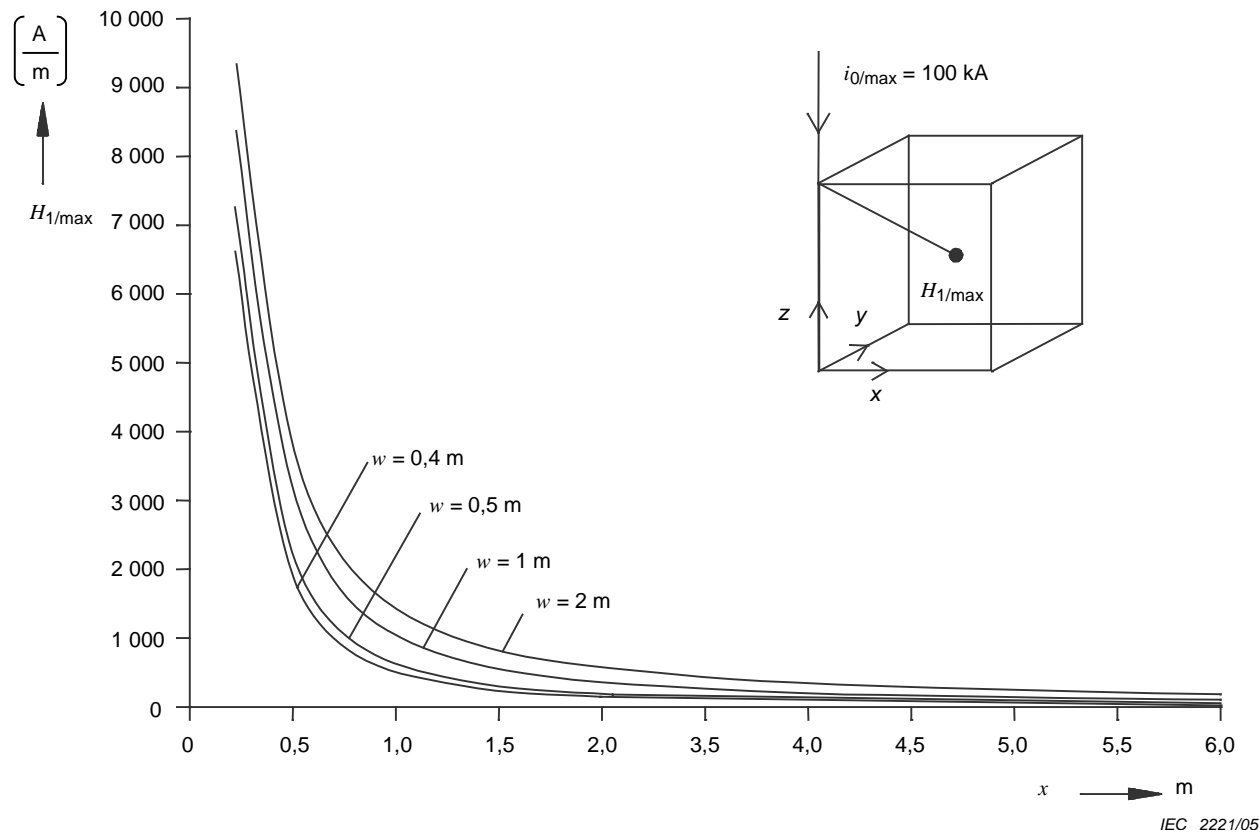


Figure A.11 – Force du champ magnétique  $H_{1/\max}$  dans un écran en grille de Type 1

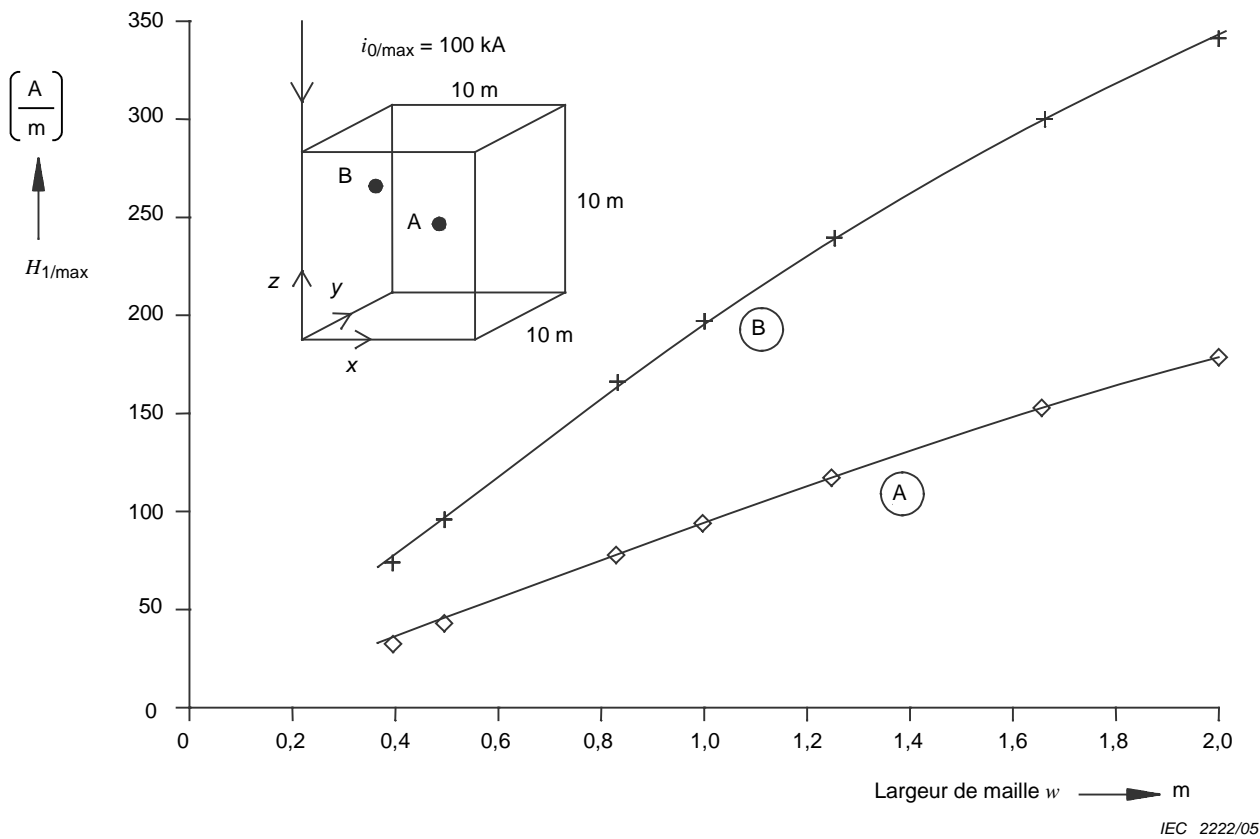


Figure A.12 – Force du champ magnétique  $H_{1/\max}$  dans un écran en grille de Type 1



NOTE 1 Les résultats expérimentaux du champ magnétique dans une ZPF 1 avec un écran en grille indiquent que l'augmentation du champ magnétique à proximité de l'écran est inférieure à la valeur obtenue des équations ci-dessus.

NOTE 2 Les résultats du calcul ne sont valables que pour des distances  $d_{s/1} > w$  de l'écran en grille.

Dans tous les cas, il est supposé un courant de foudre maximal  $i_{0/\max} = 100$  kA. Dans les deux figures,  $H_{1/\max}$  est la force du champ magnétique maximal en un point dû à ses composantes  $H_x$ ,  $H_y$  et  $H_z$ :

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (\text{A.20})$$

Dans la Figure A.11,  $H_{1/\max}$  est calculé sur une ligne droite ayant pour origine le point d'impact ( $x = y = 0$ ,  $z = 10$  m) et aboutissant au centre du volume ( $x = y = 5$  m,  $z = 5$  m).  $H_{1/\max}$  est tracé comme une fonction de  $x$  sur cette ligne. Le paramètre est la largeur de la maille  $w$  de l'écran en grille.

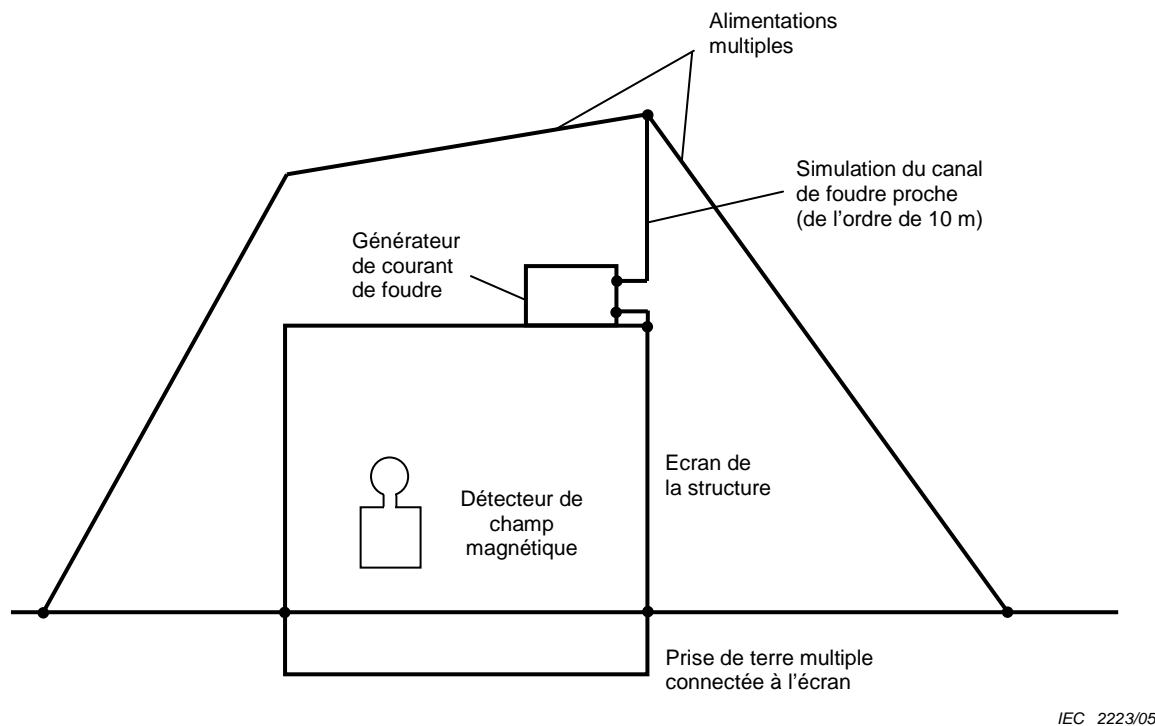
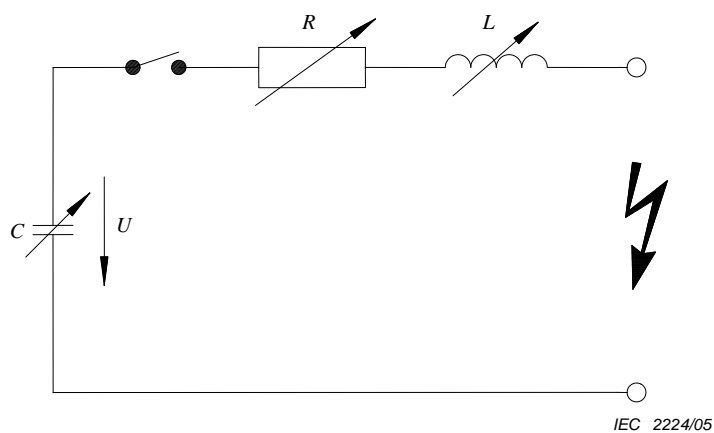
Dans la Figure A.12,  $H_{1/\max}$  est calculé pour deux points de l'écran (point A :  $x = y = 5$  m,  $z = 5$  m ; point B :  $x = y = 3$  m,  $z = 7$  m). Le résultat est tracé comme une fonction de la largeur de la maille  $w$ .

Les deux figures montrent l'influence des principaux paramètres de la distribution du champ magnétique dans l'écran en grille : distances au toit ou à la paroi et largeur des mailles.

Dans la Figure A.11, il convient d'observer que le long des lignes dans le volume d'écran, il peut exister des croisements avec l'abscisse et changement de signe des composantes du champ magnétique  $H_{1/\max}$ . Les formules de distribution données à l'Article A.3.1.1 sont ainsi des approximations du premier ordre de champs magnétiques réels beaucoup plus complexes dans un écran en grille.

### A.3.3 Evaluation expérimentale du champ magnétique dû à un coup de foudre direct

Les champs magnétiques dans des structures avec écrans peuvent également être déterminés par des mesures expérimentales. La Figure A.13 montre une proposition de simulation de coup de foudre direct en un point arbitraire de la structure avec écran en utilisant un générateur de courant de foudre. Normalement, de tels essais peuvent être effectués à des niveaux faibles avec une forme d'onde du courant de foudre simulé qui doit être identique au courant de foudre réel.

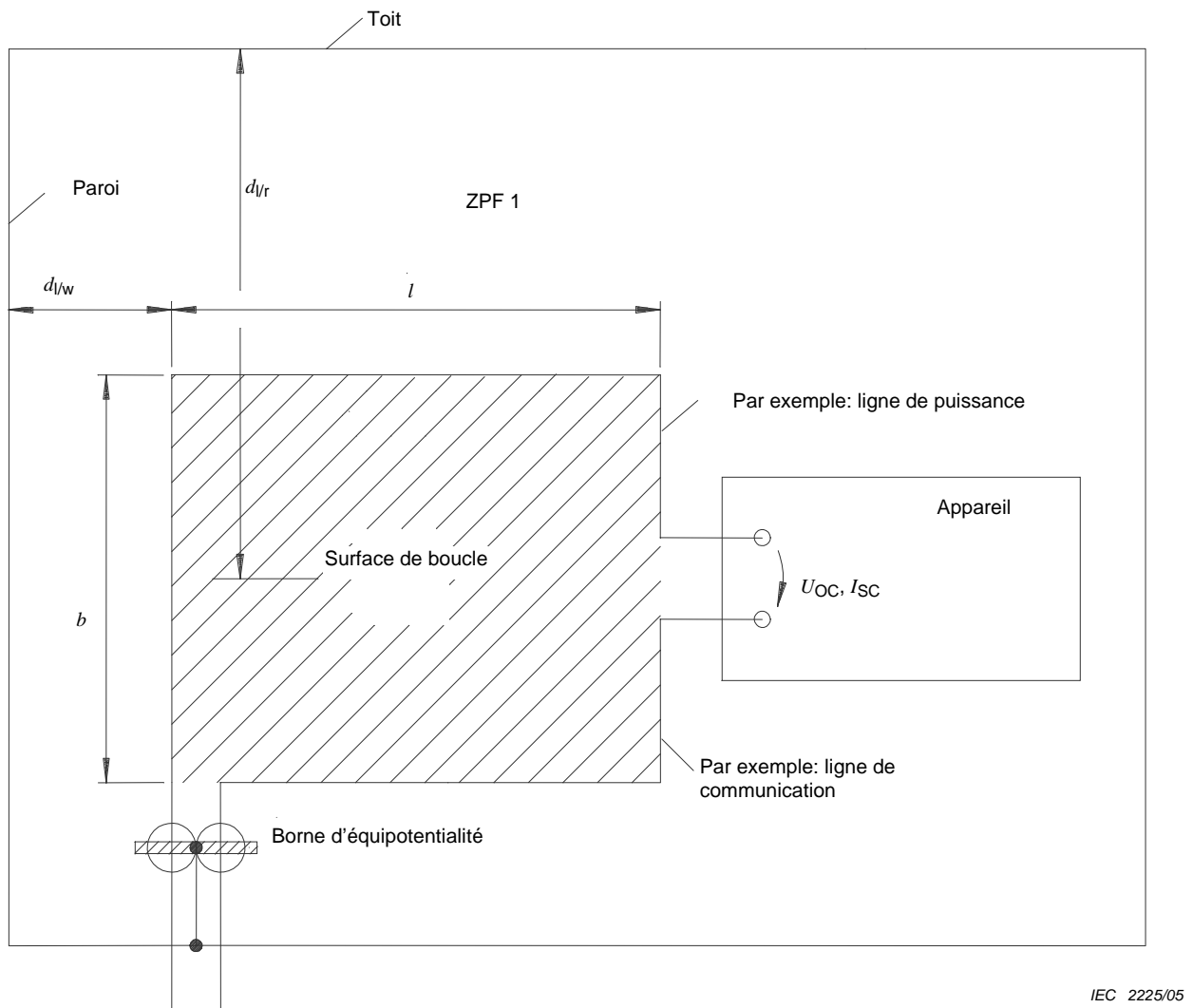
**Figure A.13a – Dispositif d'essai**

$U$  typique, quelque 10 kV  
 $C$  typique, quelque 10 nF

**Figure A.13b – Générateur de courant de foudre****Figure A.13 – Essai à bas niveau pour déterminer le champ magnétique dans une structure avec écran**

#### A.4 Calcul des tensions et courants induits

Seules les boucles rectangulaires conformes à la Figure A.14 sont prises en compte; si d'autres configurations existent, il convient de les transformer en configuration rectangulaire avec la même surface de boucle.



**Figure A.14 – Tensions et courants induits dans une boucle due aux réseaux**

#### A.4.1 Situation dans une ZPF 1 en cas de coup de foudre direct

Le champ magnétique  $H_1$  dans le volume  $V_s$  de la ZPF 1 est (voir l'Article A.3.1.1) :

$$H_1 = k_H \cdot I_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.21})$$

Pour le circuit ouvert, la tension  $u_{oc}$  est donnée par :

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot di_0/dt \quad (\text{V}) \quad (\text{A.22})$$

Lors du temps de montée  $T_1$ , la valeur crête s'élève à  $u_{oc/\max}$ :

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{0/\max} / T_1 \quad (\text{V}) \quad (\text{A.23})$$

où

$\mu_0$  est égal à  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (Vs)/(Am)}$

$b$  est la largeur de la boucle, (m)

$d_{l/w}$  est la distance entre la boucle et le mur de l'écran, avec  $d_{l/w} \geq d_{s/1}$  (m)

$d_{l/r}$  est la distance moyenne entre la boucle et la toiture de l'écran, (m)

$I_0$  est le courant de foudre dans la ZPF 0<sub>A</sub> (A)

$I_{0/\max}$  est la valeur maximale du courant de foudre dans la ZPF 0<sub>A</sub> (A)

$k_H(1/\sqrt{m})$  est le facteur de configuration  $k_H = 0,01 \cdot (1/\sqrt{m})$

$l$  est la longueur de la boucle, (m)

$T_1$  est le temps de montée du courant de foudre dans la ZPF 0<sub>A</sub> (s)

$w$  est la largeur de la maille de l'écran en grille (m).

Le courant de court-circuit  $I_{sc}$  est donné par :

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_0 / L \quad (A) \quad (A.24)$$

où la résistance ohmique des conducteurs est négligée (cas le plus défavorable).

La valeur maximale  $I_{sc/\max}$  est donnée par :

$$I_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{0/\max} / L \quad (A) \quad (A.25)$$

où  $L$  (H) est l'auto-inductance de la boucle.

Pour une boucle rectangulaire, l'auto-inductance  $L$  peut être calculée depuis :

$$L = \{0,8 \cdot \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \cdot (l + b) + 0,4 \cdot l \cdot \ln \left[ (2b/r) / \left( 1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left[ (2l/r) / \left( 1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \} \cdot 10^{-6} \quad (H) \quad (A.26)$$

où  $r$  est le rayon de fil de boucle (m).

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique du premier coup ( $T_1 = 10 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/f/\max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{f/\max} \quad (V) \quad (A.27)$$

$$I_{sc/f/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{f/\max} / L \quad (A) \quad (A.28)$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique du premier coup négatif ( $T_1 = 1 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/fn/\max} = 12,6 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{fn/\max} \quad (V) \quad (A.29)$$

$$I_{sc/fn/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{fn/\max} / L \quad (A) \quad (A.30)$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique des coups consécutifs ( $T_1 = 0,25 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/s/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{s/\max} \quad (V) \quad (A.31)$$

$$I_{sc/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{l/w}) \cdot (w/\sqrt{d_{l/r}}) \cdot I_{s/\max} / L \quad (A) \quad (A.32)$$

où

$I_{f/\max}$  est la valeur maximale du courant de premier coup, (kA)

$I_{fn/\max}$  est la valeur maximale du courant de premier coup négatif, (kA)

$I_{s/\max}$  est la valeur maximale du courant des coups consécutifs, (kA)

#### A.4.2 Situation dans la ZPF 1 en cas d'impact de foudre proche

Le champ magnétique  $H_1$  dans le volume  $V_s$  de la ZPF 1 est supposé homogène (voir l'Article A.3.1.2).

Pour le circuit ouvert, la tension  $U_{oc}$  est :

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \quad (V) \quad (A.33)$$

Durant le temps de montée  $T_1$ , la valeur crête s'élève à  $U_{oc/max}$  :

$$U_{oc/max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/max} / T_1 \quad (V) \quad (A.34)$$

où

$\mu_0$  est égal à  $4\pi \cdot 10^{-7}$  (Vs)/(Am)

$b$  est la largeur de la boucle (m)

$H_1$  est le champ magnétique dans la ZPF 1 en fonction du temps (A/m)

$H_{1/max}$  est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 (A/m)

$l$  est la longueur de la boucle (m)

$T_1$  est le temps de montée du champ magnétique, identique à celui du courant de foudre (s).

Le courant de court-circuit  $I_{sc}$ , est donné par :

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1 / L \quad (A) \quad (A.35)$$

où la résistance ohmique des conducteurs est négligée (cas le plus défavorable).

La valeur maximale  $I_{sc/max}$  est donnée par :

$$I_{sc/max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/max} / L \quad (A) \quad (A.36)$$

où  $L$  (H) est l'auto-inductance de la boucle (H) (pour le calcul de  $L$ , voir l'Article A.4.1).

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique  $H_{1/f}$  du premier coup ( $T_1 = 10 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/f/max} = 0,126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/max} \quad (V) \quad (A.37)$$

$$I_{sc/f/max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/max} / L \quad (A) \quad (A.38)$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique  $H_{1/fn}$  du premier coup négatif ( $T_1 = 1 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/fn/max} = 1,26 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/fn/max} \quad (V) \quad (A.39)$$

$$I_{sc/fn/max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/fn/max} / L \quad (A) \quad (A.40)$$

Pour la tension et le courant induits par le champ magnétique  $H_{1/s}$  des coups consécutifs ( $T_1 = 0,25 \mu s$ ), on obtient :

$$U_{oc/s/max} = 5,04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/max} \quad (V) \quad (A.41)$$

$$I_{sc/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (\text{A}) \quad (\text{A.42})$$

où

$H_{1/f/\max}$  est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 due au premier coup (A/m)

$H_{1/fn/\max}$  est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 due au premier coup négatif (A/m)

$H_{1/s/\max}$  est la valeur maximale du champ magnétique dans la ZPF 1 due aux coups consécutifs (A/m)

#### **A.4.3 Situation dans une ZPF 2 ou d'ordre supérieur**

Le champ magnétique  $H_n$  dans la ZPF n pour  $n \geq 2$  est supposé homogène (voir l'Article A.3.1.3).

Ainsi, les mêmes formules de calcul que celles données à l'Article A.3.1.2 sont applicables pour les tensions et courants induits, en remplaçant  $H_1$  par  $H_n$ .

## Annexe B (informative)

### Mise en œuvre des mesures de PRPC dans des structures existantes

#### B.1 Généralités

Pour les matériels installés dans des structures existantes, il n'est pas toujours possible de suivre les mesures de PRPC spécifiées dans la présente norme. La présente annexe tente de décrire les principaux points à prendre en considération et donne des informations sur les mesures de protection qui ne sont pas obligatoires mais qui peuvent aider à améliorer la protection générale assurée.

#### B.2 Liste des vérifications

Dans les structures existantes, des mesures de protection appropriées contre les effets de la foudre nécessitent la prise en compte de la construction et des conditions de la structure et des réseaux de puissance et de communication.

Une liste de vérifications facilite l'analyse du risque et le choix des méthodes de protection les plus appropriées.

Pour les structures existantes, il convient de dresser une liste systématique pour la définition des zones, les mises à la terre, les équipotentialités, le cheminement et les écrans.

Il convient d'utiliser la liste donnée dans les Tableaux B.1 à B.4 pour collecter les données requises de la structure existante et de ses installations. En se fondant sur ces données, il convient d'effectuer une évaluation des risques conformément à la CEI 62305-2 pour déterminer la nécessité d'une protection et, dans ce cas, identifier les mesures de protection les plus rentables à appliquer.

NOTE 1 Pour des informations complémentaires sur la protection contre les perturbations électromagnétiques dans les bâtiments, voir la CEI 60364-4-44.

Les données collectées au moyen des listes de vérifications sont également utiles pour la conception.

**Tableau B.1 – Caractéristiques des structures et environnements**

Points	Questions
1	Structures maçonnées, briques, bois, béton armé ou structures en acier, façade métallique ?
2	Structure intégrée simple ou blocs interconnectés avec joints d'expansion ?
3	Structure plate basse ou élevée ? (dimensions de la structure)
4	Des barres armées sont-elles interconnectées à la structure ?
5	Genre, type et qualité du matériau métallique de la toiture ?
6	Les façades métalliques sont-elles reliées à la liaison équipotentielle ?
7	Les cadres métalliques des fenêtres sont-ils reliés à la liaison équipotentielle ?
8	Dimensions des fenêtres ?
9	La structure est-elle équipée d'un système extérieur de protection contre la foudre ?
10	Type et qualité du SPF extérieur ?
11	Nature du sol (roche, argile) ?

12	Dispositif de capture des structures adjacentes (hauteur, distance) ?
NOTE Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	

**Tableau B.2 – Caractéristiques des installations**

Points	Questions
1	Type de services entrants (enterrés ou aériens) ?
2	Type d'aériens (antennes ou autres dispositifs externes) ?
3	Type d'alimentation électrique (haute ou basse tension, enterrée ou aérienne) ?
4	Cheminement des canalisations (nombre et emplacement des conduits) ?
5	Utilisation de conduits métalliques ?
6	Des matériels électroniques sont-ils intégrés dans la structure ?
7	Connexions métalliques à d'autres structures ?
NOTE Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	

**Tableau B.3 – Caractéristiques des matériels**

Points	Questions
1	Type de matériel électronique, liaisons (câbles multiconducteurs écrantés ou non, câbles coaxiaux, analogiques et/ou numériques, symétriques ou non, à fibre optique) ? (voir Note 1)
2	Les niveaux de tenue du réseau de communication sont-ils spécifiés ? (voir Notes 1 et 2)
NOTE 1 Pour plus d'informations, voir la CEI 62305-2.	
NOTE 2 Pour plus d'informations, voir l'UIT-T K.21, la CEI 61000-4-5, la CEI 61000-4-9 et la CEI 61000-4-10.	

**Tableau B.4 – Autres questions nécessaires à considérer pour la détermination du concept de protection**

Points	Questions
1	Schéma TN (TN-S ou TN-C), TT ou IT ?
2	Emplacement du matériel électronique ? (voir Note)
3	Où sont réalisées les interconnexions des conducteurs fonctionnels du réseau de communication avec le réseau d'équipotentialité ?
NOTE Pour plus d'informations, voir l'Annexe A.	

### B.3 Conception des mesures de PRPC pour une structure existante

La première étape du processus de conception consiste à utiliser la liste de vérifications selon B.2 et à réaliser l'évaluation des risques.

Si l'analyse révèle la nécessité d'une PRPC, il convient de la mettre en œuvre en suivant les étapes spécifiées dans la Figure B.1.

Affecter des niveaux de ZPF à tous les emplacements d'installation des matériels à protéger (voir 4.3).

Les mesures de PRPC doivent être fondées sur le principe d'écrantage interne et de réseau d'équipotentialité. Il convient que les largeurs de maille de ce réseau ne dépassent pas 5 m dans toutes les directions. Si l'utilisation ou la disposition de la structure ne permet pas d'appliquer ce blindage et réseau d'équipotentialité, il convient d'installer au moins un conducteur en ceinturage d'équipotentialité à l'intérieur de la paroi extérieure de la structure à



chaque étage. Ce ceinturage d'équipotentialité doit être mis à la terre et relié à chaque conducteur aval du SPF extérieur.

NOTE 1 L'amélioration des mesures de blindage d'un bâtiment existant est souvent impossible à réaliser et non rentable. Dans ce cas, une autre solution efficace consiste à utiliser des parafoudres.

#### **B.4 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 1**

Il convient que les mesures de protection soient fondées sur le blindage interne et le réseau d'équipotentialité ou le ceinturage d'équipotentialité à l'intérieur de la paroi extérieure, qui constitue généralement la frontière de la ZPF 1. Si la paroi extérieure ne constitue pas la frontière de la ZPF 1 et s'il est impossible de réaliser un blindage interne et un réseau d'équipotentialité, il convient d'installer un ceinturage d'équipotentialité à la frontière de la ZPF 1. Le ceinturage d'équipotentialité doit être connecté au ceinturage d'équipotentialité de la paroi extérieure au moins en deux emplacements aussi éloignés que possible.

##### **B.4.1 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 2**

Les mesures de protection sont fondées sur le blindage interne et le réseau d'équipotentialité ou le ceinturage d'équipotentialité à l'intérieur de la paroi extérieure. S'il est impossible de réaliser un blindage interne et un réseau d'équipotentialité, il convient d'installer un ceinturage d'équipotentialité à la frontière de chaque ZPF 2. Si les dimensions d'une ZPF 2 sont plus grandes que 5 x 5 m, une subdivision doit être réalisée pour obtenir des mailles ne dépassant pas 5 x 5 m. Le ceinturage d'équipotentialité doit être connecté au ceinturage d'équipotentialité de la ZPF 1 environnante au moins en deux emplacements aussi éloignés que possible.

##### **B.4.2 Conception des mesures de protection fondamentales pour ZPF 3**

Les mesures de protection sont fondées sur le blindage interne et le réseau d'équipotentialité ou le ceinturage d'équipotentialité à l'intérieur de la ZPF 2. S'il est impossible de réaliser un blindage interne et un réseau d'équipotentialité, il convient d'installer un ceinturage d'équipotentialité à la frontière de chaque ZPF 3. Si les dimensions d'une ZPF 3 sont plus grandes que 5 x 5 m, une subdivision doit être réalisée pour obtenir des mailles ne dépassant pas 5 x 5 m. Le ceinturage d'équipotentialité doit être connecté au ceinturage d'équipotentialité de la ZPF 2 environnante au moins en deux emplacements aussi éloignés que possible.

#### **B.5 Mise en œuvre de parafoudres coordonnés**

Il convient que le système de protection coordonnée par parafoudres soit conçu pour protéger les câbles traversant les frontières des différentes ZPF.

La conception de mesures complémentaires améliore grandement la protection par équipotentialité et parafoudres.

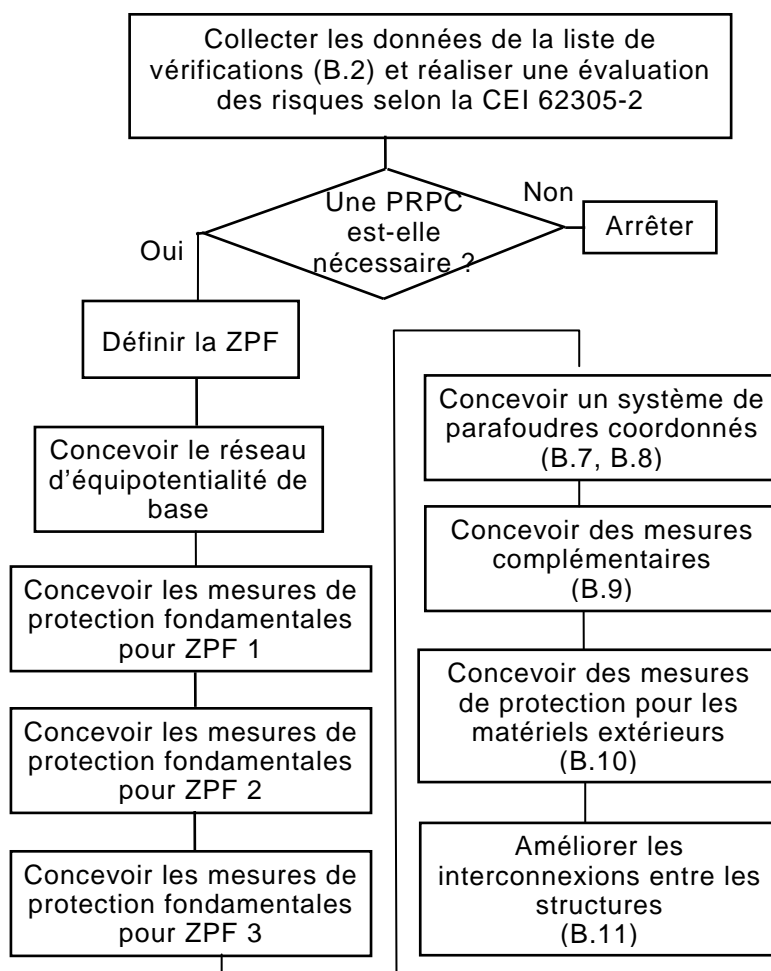
La conception des chemins de câbles, supports de câbles et dispositifs analogues doit être améliorée pour qu'ils constituent des écrans appropriés pour les câbles qu'ils contiennent et/ou qui les chevauchent.

Si possible, il convient d'envisager des mesures supplémentaires (telles que blindage des parois, planchers, plafonds etc.) pour assurer une protection complémentaire aux mesures déjà appliquées (voir Article 6).

Concevoir des mesures permettant d'améliorer les interconnexions entre la structure considérée et les autres structures (voir B.11).

Lorsque des réseaux de communication neufs sont installés dans une structure déjà équipée de mesures de protection, il convient de revoir la conception pour l'emplacement de ces nouveaux réseaux de communication.

L'organigramme ci-dessous illustre le processus de conception dans son ensemble (voir Figure B.1).



**Figure B.1 – Etapes de la conception d’une PRPC pour une structure existante**

## **B.6 Amélioration d’un système de protection contre la foudre (SPF) existant utilisant l’écran spatial de ZPF 1**

Le SPF existant peut être amélioré conformément à la CEI 62305-3 autour de la ZPF 1 par :

- l’intégration des façades et toitures métalliques existantes dans le SPF extérieur,
- l’utilisation des armatures du béton de la toiture et des façades pour la mise à la terre si la continuité de la mise à la terre peut être assurée,
- la réduction des écarts entre conducteurs de descente et des mailles du dispositif de capture de taille typique de 5 m,
- l’installation de conducteurs souples pour les joints d’expansion entre des blocs adjacents et séparés.

## B.7 Détermination des ZPF pour les réseaux de puissance et de communication

En fonction du nombre, du type et de la sensibilité des réseaux de puissance et de communication, des ZPF intérieures appropriées sont définies, depuis des petites zones locales (enveloppe d'un simple matériel électronique) jusqu'à des zones importantes (pouvant s'étendre à la totalité du bâtiment).

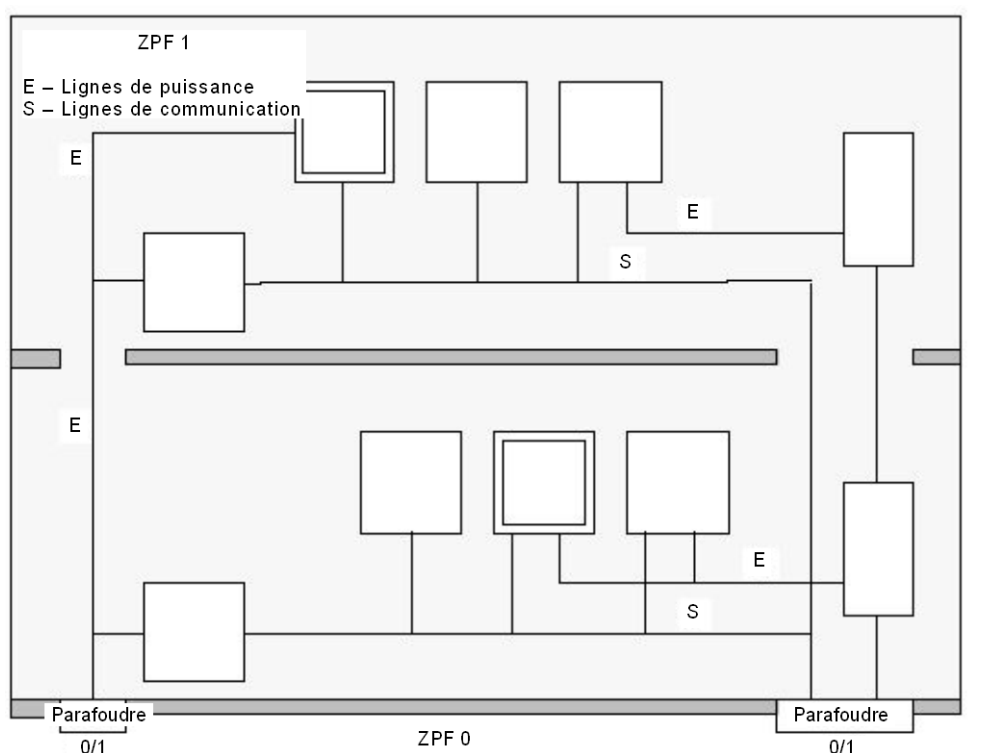
La Figure B.2 montre le principe de ZPF typiques pour la protection des réseaux de communication en donnant diverses solutions appropriées pour des structures existantes :

La Figure B.2a montre l'installation d'une simple ZPF 1, en créant un volume protégé dans l'ensemble de la structure, par exemple pour des réseaux de communication à niveaux de tenue en tension améliorés :

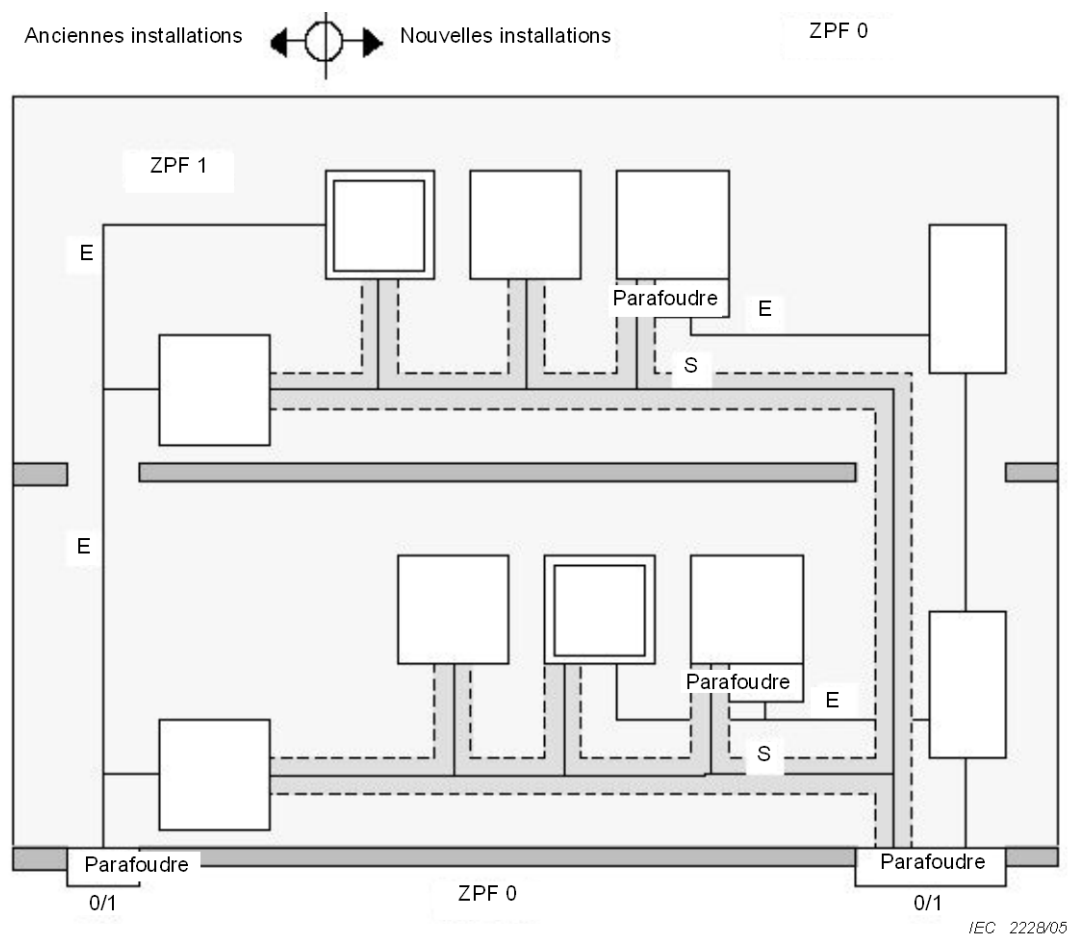
- Cette ZPF 1 peut être créée par un système de protection contre la foudre conforme à la CEI 62305-3, constitué par un SPF extérieur (dispositif de capture, conducteurs de descente et prise de terre) et par un SPF intérieur (liaison d'équipotentialité de foudre et conformité avec les distances de séparation).
- Le SPF extérieur protège la ZPF 1 contre les coups de foudre directs sur la structure, mais le champ magnétique dans la ZPF 1 est peu atténué (largeur des mailles du dispositif de capture et des conducteurs de descente supérieure à 5 m). C'est pourquoi l'effet d'écran spatial est négligeable. Si le risque  $R_D$  de coup de foudre direct est très faible, le SPF extérieur peut être omis.
- Le SPF intérieur nécessite la mise à la terre de tous les services pénétrant dans la structure à la frontière de la ZPF 1, lequel intègre des parafoudres appropriés sur tous les réseaux de puissance et de communication. Cette disposition entraîne le contrôle par parafoudre des chocs conduits sur les services entrants.

NOTE Les interfaces d'isolement peuvent être utiles dans la ZPF 1 afin d'éviter des perturbations à basse fréquence.

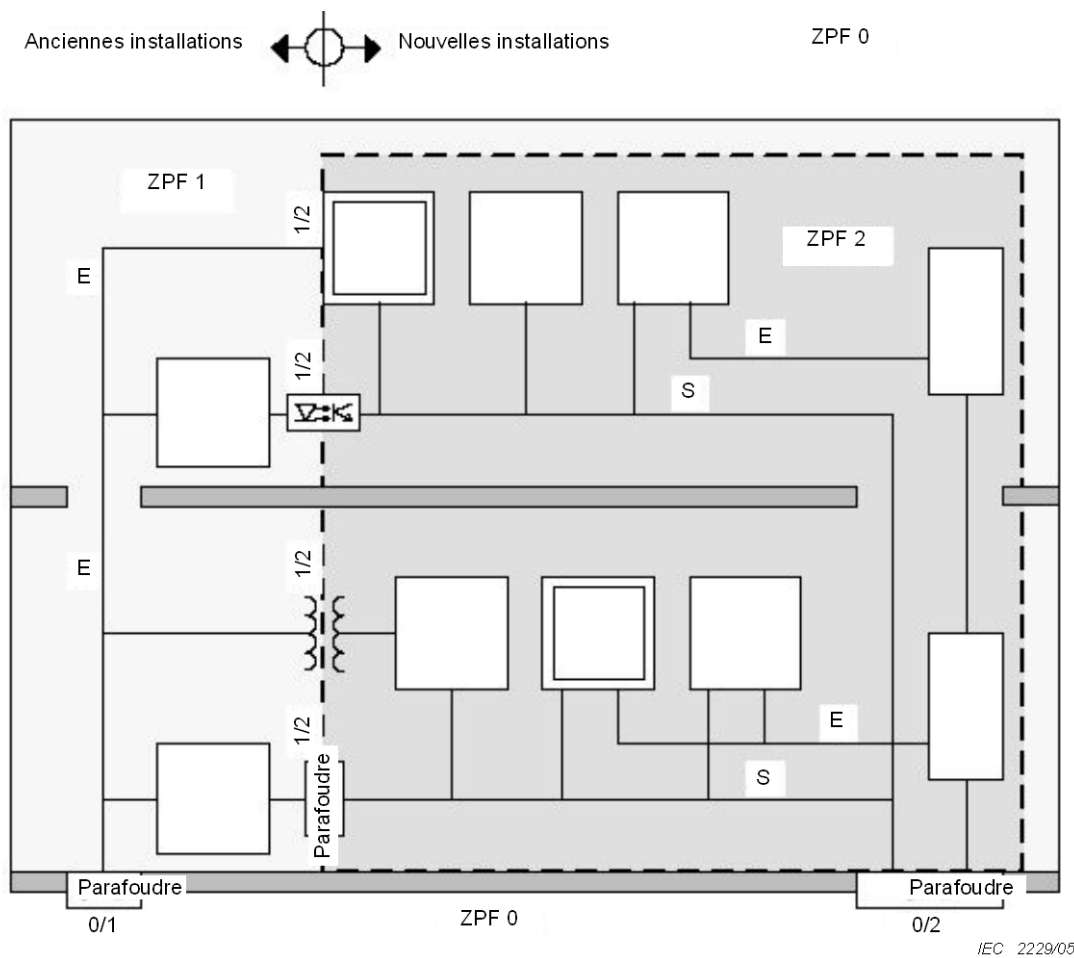
Les Figures B.2b à d montrent les différentes manières possibles d'établir des ZPF dans des structures existantes.



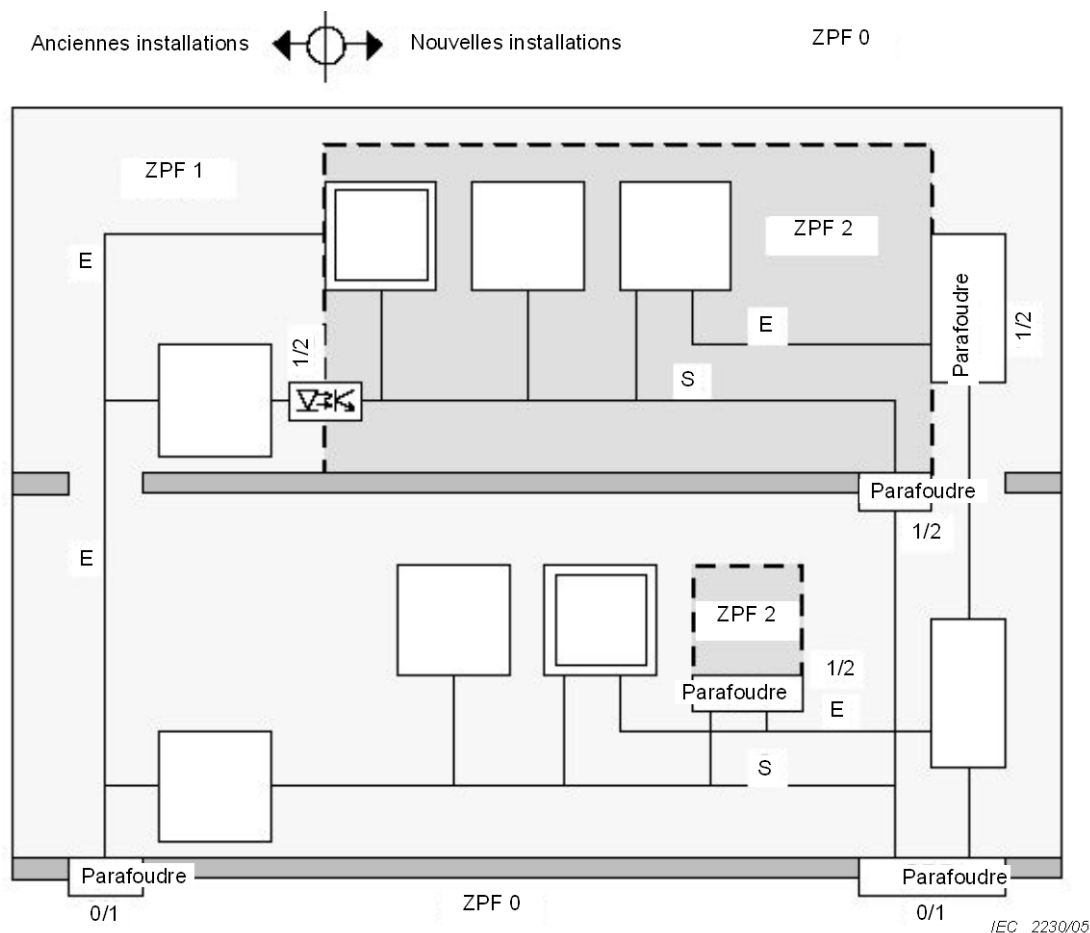
**Figure B.2a – ZPF 1 non blindée utilisant un SPF et des parafoudres à l'entrée des réseaux dans la structure (par exemple pour une protection renforcée des réseaux ou pour de petites boucles dans la structure)**



**Figure B.2b – ZPF 1 non blindée avec une protection pour de nouveaux réseaux de communication écrantés et des parafoudres coordonnés dans le réseau de puissance**



**Figure B.2c – ZPF 1 non blindée et large écran de ZPF 2 pour de nouveaux réseaux de communication**



**Figure B.2d – ZPF 1 non blindée et deux ZPF 2 locales pour de nouveaux réseaux de communication**

La Figure B.2b montre que dans une ZPF 1 non écrantée, les nouveaux matériels doivent également être protégés contre les chocs conduits. Par exemple, le réseau de communication peut être protégé par des câbles écrantés et le réseau de puissance par une protection coordonnée par parafoudres. Cela peut nécessiter des parafoudres supplémentaires soumis à essai sous  $I_n$  ou sous onde combinée, installés à proximité des matériels et coordonnés avec les parafoudres à l'origine du réseau. Cela peut aussi nécessiter une isolation double supplémentaire de Classe II pour les matériels.

La Figure B.2c montre l'installation d'une grande ZPF 2 dans une ZPF 1 pour s'adapter aux nouveaux réseaux de communication. L'écran spatial en grille de la ZPF 2 assure une atténuation significative du champ magnétique de foudre. Du côté gauche, il convient que les parafoudres placés à la frontière de la ZPF 1 (transition ZPF 0/1) et, par la suite à la frontière de la ZPF 2 (transition de ZPF 1/2) soient coordonnés conformément à la CEI 61643-12. Du côté droit, il convient que les parafoudres à la frontière de la ZPF 1 soient choisis pour une transition directe des ZPF 0/2 (voir C.3.4).

La Figure B.2d montre l'installation de deux ZPF 2 de plus petites dimensions à l'intérieur de la ZPF 1. Il convient d'installer des parafoudres complémentaires sur les réseaux de puissance et de communication à la frontière de chaque ZPF 2. Il convient que ces parafoudres soient coordonnés avec les parafoudres à la frontière de la ZPF 1 conformément à la CEI 61643-12.

## B.8 Protection par réseau d'équipotentialité

Les prises de terre existantes peuvent ne pas donner satisfaction pour des courants de foudre de fréquence de plusieurs MHz, car leur impédance est trop élevée à ces fréquences.

Même un SPF conforme à la CEI 62305-3 permettant des mailles de largeur supérieure à 5 m avec liaison d'équipotentialité de foudre en tant que partie obligatoire du SPF extérieur peut être insuffisant pour des réseaux de communication sensibles. Cela en raison de l'impédance de cette équipotentialité pouvant être trop élevée pour cette application.

Une basse impédance de cette équipotentialité avec un maillage typique de 5 m de largeur ou en dessous est fortement recommandée.

Généralement, il convient que le réseau d'équipotentialité ne serve pas de conducteur de retour de puissance ou de communication. Pour cette raison, il convient que le conducteur PE soit incorporé au réseau d'équipotentialité, mais il convient que le PEN ne le soit pas.

Une liaison directe d'un conducteur de protection fonctionnelle (par exemple terre propre d'un réseau de communication) est permise si la terre est d'impédance faible, car le couplage interférentiel dans les réseaux de puissance ou de communication sera très faible. Aucune liaison directe entre le conducteur PEN et toute partie métallique n'est permise, afin d'éviter des perturbations dans le réseau de communication.

## B.9 Protection par parafoudres

Pour le contrôle des chocs conduits par les lignes, il convient d'installer des parafoudres à l'entrée de tout SPF intérieur (voir Figure B.2 et Figure B.8, n° 3).

Dans des bâtiments, une cascade non coordonnée de parafoudres peut créer des dysfonctionnements ou des dommages sur le réseau de communication, particulièrement si le parafoudre aval ou un parafoudre dans le matériel n'est pas coordonné avec celui à l'entrée du service.

Afin de maintenir l'efficacité des mesures de protection adoptées, il est nécessaire d'établir un plan d'installation des parafoudres.

## B.10 Protection par interfaces d'isolement

Les courants de perturbation à fréquence industrielle dans les matériels et leurs câbles associés peuvent être dus soit à des boucles de grande surface ou à une installation de mise à la terre d'impédance trop élevée. Pour éviter ces perturbations (essentiellement en schéma TN-C), la séparation entre installations neuves et celles déjà existantes peut être réalisée par des interfaces d'isolement telles que :

- matériels isolés de Classe II (c'est-à-dire double isolation sans conducteur PE),
- transformateurs d'isolement,
- câbles non métalliques à fibre optique,
- coupleurs optiques.

NOTE Il convient de vérifier attentivement que les enveloppes métalliques ne présentent pas de connexion accidentelle galvanique avec le réseau d'équipotentialité ou des parties métalliques dont il faut qu'elles soient isolées. Cela correspond au cas général car les matériels électroniques de bureau (ou domestiques) sont connectés à la terre par les seuls câbles de connexion.

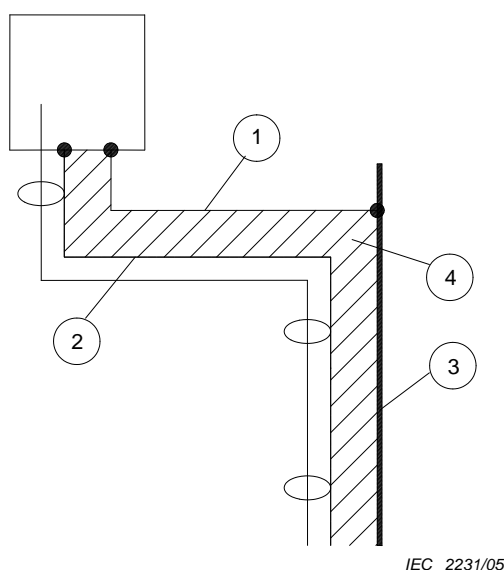
## B.11 Mesures de protection par cheminement et par écran

Un cheminement approprié et un écran sont des mesures de protection efficaces contre les surtensions induites. Ces mesures sont particulièrement importantes si l'efficacité de l'écran spatial de la ZPF 1 est négligeable. Dans ce cas, les principes suivants apportent une protection améliorée :

- diminution des surfaces de boucle d'induction,
- il convient que l'alimentation de nouveaux matériels par des canalisations existantes soit évitée car cela créerait des boucles d'induction fermées de grande surface et des risques significatifs de dégradation. De plus, des cheminements adjacents de réseaux de puissance et de communication peuvent éviter de larges boucles (voir Figure B.8, n°8),
- utilisation de câbles écrantés. Il convient de mettre en œuvre des réseaux de communication écrantés mis à la terre à leurs deux extrémités,
- utilisation de conduits métalliques ou de plaques métalliques mises à la terre. Il convient que les parties séparées des sections métalliques présentent une bonne continuité électrique et que les connexions soient faites par recouvrement ou par des conducteurs. Afin de maintenir une impédance faible du câble, il convient de distribuer des vis multiples ou des bandes à la périphérie du conduit (voir la CEI 61000-5-2).

Des exemples de techniques de cheminement et d'écran correctes sont présentés dans les Figures B.3 et B.4.

NOTE Si la distance entre les lignes de communication et le matériel électronique dans les zones générales (non désignées particulièrement pour la communication) est supérieure à 10 m, il est recommandé d'utiliser des lignes d'équilibrage avec des ports suffisamment isolés, par exemple coupleurs optiques, transformateurs d'isolement ou amplificateurs. De plus, l'utilisation de câbles tripolaires peut être avantageuse.



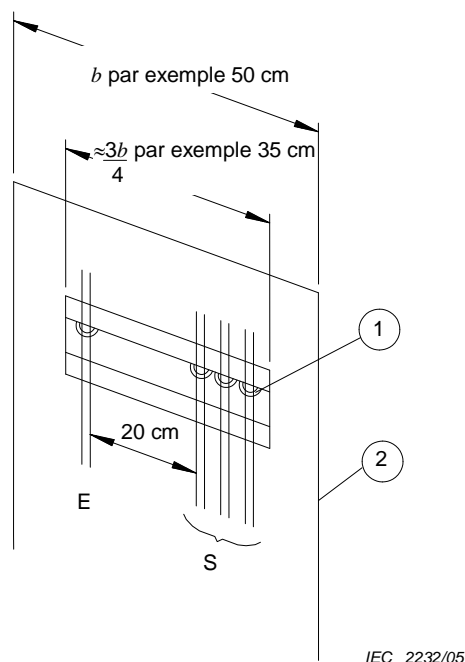
### Légende

- 1 PE seulement si des matériels de Classe I sont utilisés
- 2 l'écran éventuel du câble doit être mis à la terre à ses deux extrémités
- 3 plate métallique comme écran complémentaire (voir Figure B.4)
- 4 boucle de petites dimensions

NOTE En raison des petites dimensions de la boucle, la tension induite entre l'écran du câble et la plate métallique est faible.

**Figure B.3 – Réduction des dimensions de la boucle en utilisant des câbles écrantés proches d'une plate métallique**





#### Légende

- 1 fixation du câble avec ou sans connexion des écrans du câble à la plaque
- 2 sur les bords, le champ magnétique est supérieur à celui du milieu de la plaque
- E lignes de puissance
- S lignes de communication

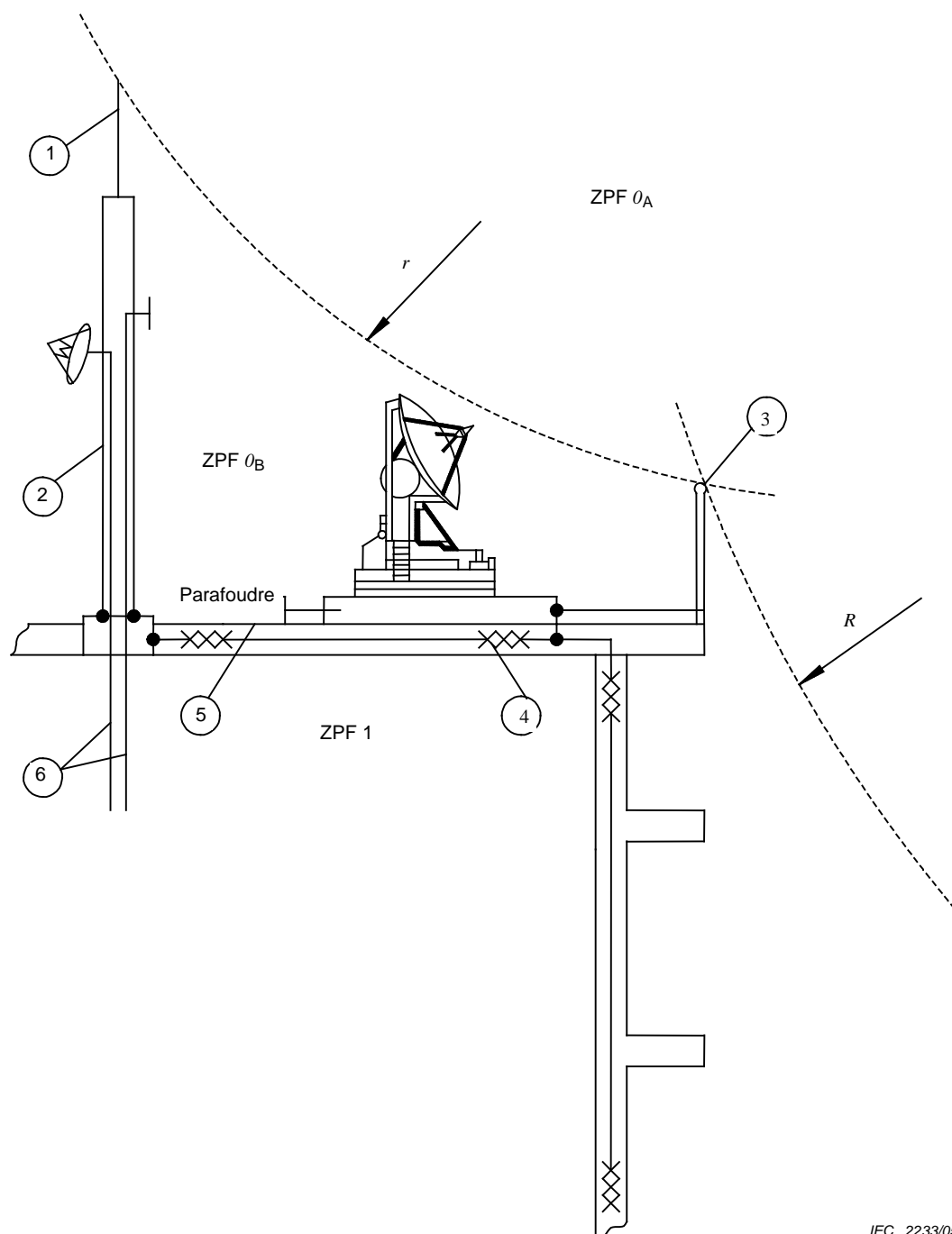
**Figure B.4 – Exemple de plaque métallique utilisée comme écran complémentaire**

#### B.11.1 Mesures de protection pour des matériels placés à l'extérieur

Des exemples de matériels placés à l'extérieur sont des capteurs de tous types comprenant des aériens, des capteurs météorologiques, des caméras vidéo de surveillance, des capteurs sur des usines (pression, température, débit, position de vanne, etc.) et tout autre matériel électrique, électronique ou radio situé à l'extérieur sur des structures, des mâts et citernes.

### B.11.2 Protection des matériels extérieurs

Autant que possible, il convient qu'un dispositif de capture soit placé de manière à protéger le matériel contre les coups de foudre directs à l'intérieur de la ZPF  $0_B$  (voir Figure B.5).



IEC 2233/05

#### Légende

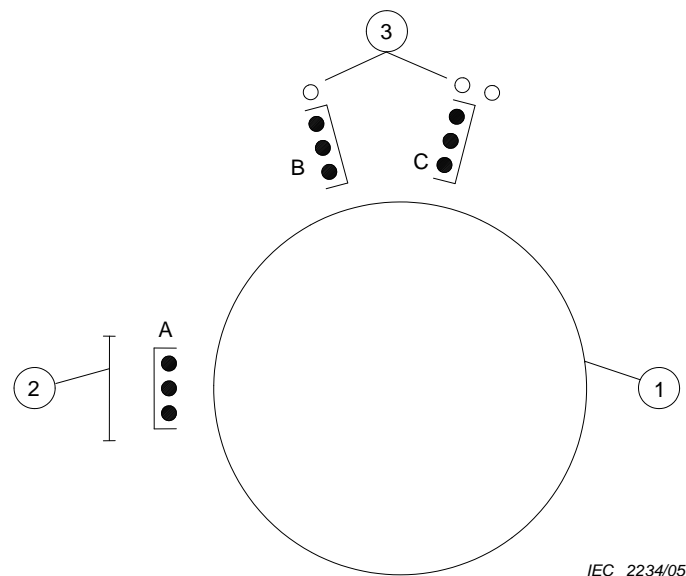
- 1 tige de captation
- 2 mât en acier avec antennes
- 3 rambarde
- 4 armatures interconnectées
- 5 ligne issue de ZPF  $0_B$  nécessitant un parafoudre en entrée
- 6 ligne issue de ZPF 1 (interne au mât) ne nécessitant pas un parafoudre en entrée
- $r$  rayon de la sphère fictive

**Figure B.5 – Protection d'antennes et autres matériels extérieurs**

Sur des structures de grande hauteur, il convient d'appliquer la méthode de la sphère fictive (voir CEI 62305-3) aux matériels situés sur la toiture ou sur les façades du bâtiment afin de déterminer si un coup de foudre est possible et dans ce cas, il convient de placer des dispositifs de capture supplémentaires. Souvent, les rambardes, échelles, tuyaux, etc., peuvent remplir les fonctions de dispositifs de capture. Tous les matériels, à l'exception de quelques formes d'aériens, peuvent être protégés de cette manière. Les aériens doivent parfois être placés dans des situations exposées, car, leurs performances peuvent être affectées par les conducteurs de foudre proches. Certains aériens sont conçus pour être auto-protégés car seuls des conducteurs de mise à la terre sont exposés aux coups de foudre. D'autres types peuvent nécessiter des parafoudres sur leurs câbles d'alimentation pour empêcher l'écoulement de transitoires dans le câble vers le récepteur ou l'émetteur. Toutefois, si un SPF extérieur est installé, il convient que les supports des aériens soient reliés à l'équipotentialité.

### B.11.3 Réduction des surtensions dans les câbles

Des tensions induites élevées et des courants peuvent être évités, par la connexion à l'équipotentialité des conduits, canalisations ou tubes métalliques. Il convient que tous les câbles relatifs à un matériel particulier connecté à un aérien sortent du chemin de câbles en un seul point. Il convient, dans toute la mesure du possible, de tenir compte des propriétés de blindage inhérentes à la structure en faisant cheminer les câbles dans des conduits si possible tubulaires, ou dans le cas de citernes, à l'extérieur mais à proximité de la structure et en utilisant au mieux les écrans naturels formés par les canalisations et échelles métalliques ou tout autre matériau conducteur (voir Figure B.6). Sur les mâts à cornière en forme de L (voir Figure B.7), il convient de placer les câbles à l'intérieur de la cornière pour une protection maximale de la structure.

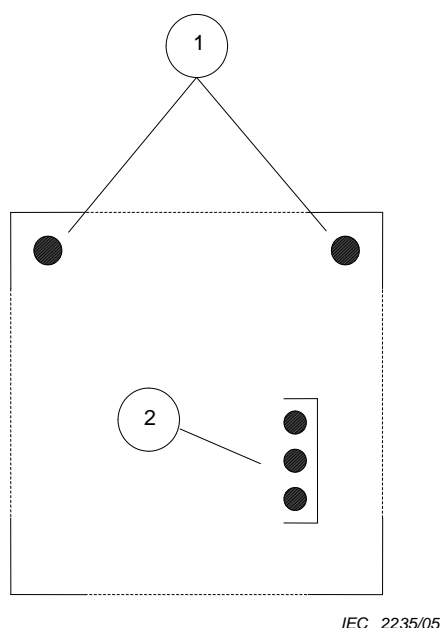


#### Légende

- 1 citerne
- 2 échelle
- 3 canalisations

NOTE A, B et C sont de bons choix pour l'emplacement des chemins de câbles.

**Figure B.6 – Ecran naturel fourni par des échelles et canalisations mises à la terre**



#### Légende

- 1 emplacements idéaux pour les câbles dans les coins des poutres en L
- 2 autre emplacement pour le chemin de câbles dans le mât

**Figure B.7 – Emplacements idéaux pour des lignes sur un mât (section des mâts en acier )**

## B.12 Amélioration des interconnexions entre des structures

Les lignes interconnectant des structures séparées sont :

- soit isolées (câbles à fibre optique non métalliques),
- soit métalliques (par exemple, paires câblées, guides d'ondes, câbles coaxiaux ou multipolaires, mais aussi câbles optiques avec composantes métalliques continues).

Les exigences de protection dépendent du type de ligne, du nombre de lignes et de l'interconnexion ou non des prises de terre des structures séparées.

### B.12.1 Lignes isolées

Si des câbles à fibre optique sans composantes métalliques (c'est-à-dire sans écran métallique, de fil de tirage acier ou de barrière antimoisissure) sont utilisés pour l'interconnexion de structures séparées, aucune mesure de protection de ces câbles n'est prescrite.

### B.12.2 Lignes métalliques

Si une interconnexion appropriée des prises de terre de structures séparées n'est pas réalisée, les lignes constituent un cheminement de faible impédance pour le courant de foudre. Ainsi, un courant partiel de foudre conséquent circulera dans ces lignes.

- La mise à la terre des lignes, directement ou par parafoudres à l'entrée des deux ZPF 1, protégera les seuls matériels dans les structures, mais pas les lignes.
- Les lignes pourraient être protégées par l'installation d'un conducteur d'équipotentialité complémentaire en parallèle. Le courant de foudre serait alors partagé entre les lignes et ce conducteur.

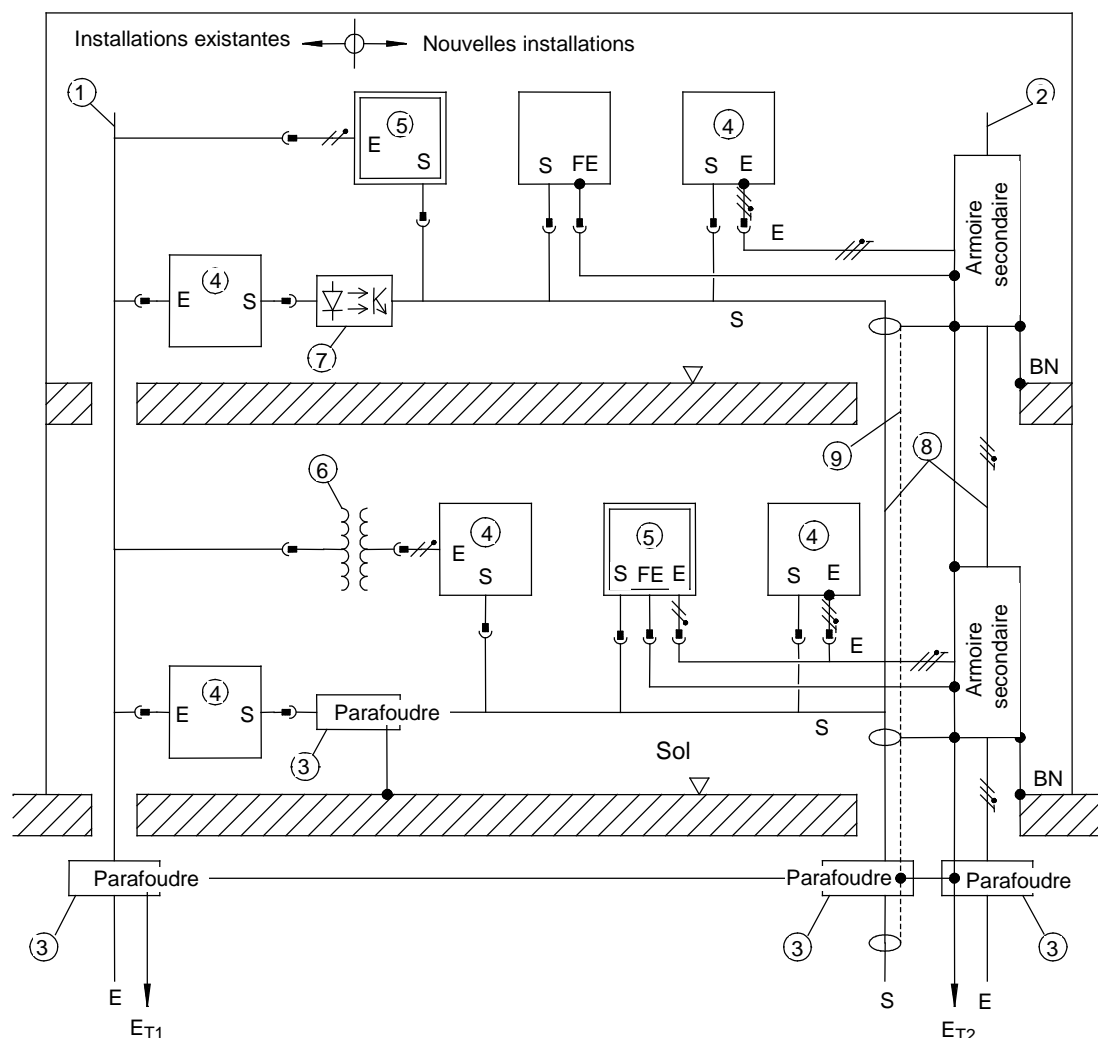
- La méthode recommandée est de mettre les lignes dans des conduits métalliques fermés et interconnectés, ce qui protège les lignes et les matériels dans les structures.

Si une interconnexion appropriée des prises de terre de structures séparées est réalisée, la protection des lignes par des conduits métalliques interconnectés est toujours recommandée. Dans le cas de nombreux câbles d'interconnexion, les écrans et armures des câbles peuvent être mis à la terre à chaque extrémité au lieu d'utiliser des conduits métalliques.

### B.13 Intégration des nouveaux réseaux électroniques dans une structure existante

Lors de l'ajout de nouveaux réseaux de communication dans une structure existante, l'installation existante peut présenter des restrictions quant aux mesures de protection à utiliser.

La Figure B.8 montre un exemple d'installation existante (à gauche) interconnectée à une installation nouvelle (à droite). L'installation existante apporte des restrictions sur les mesures de protection pouvant être utilisées. Toutefois, la conception et la mise en œuvre de la nouvelle installation peuvent regrouper l'ensemble des mesures de protection.



IEC 2226/05

#### Légende

- 1 installations existantes (TN-C, TT, IT)
- 2 nouvelles installations (TN-S, TN-CS, TT, IT)
- 3 parafoudre (SPD)
- 4 isolation normalisée de Classe I
- 5 double isolation Classe II sans PE
- 6 transformateur d'isolement

- E lignes de puissance
- S lignes de communication (avec ou sans écran)
- $E_T$  prise de terre
- BN réseau d'équipotentialité
- PE conducteur de protection de terre
- FE conducteur de protection fonctionnel (éventuel)

//T

7	opto-coupleur ou câble à fibre optique	ligne à 3 conducteurs (L, N, PE)
8	cheminement adjacent des réseaux de puissance et de communication	// ligne à 2 conducteurs (L, N)
9	conduits avec écran	• points de mise à la terre (PE, FE, BN)

**Figure B.8 – Amélioration des PRPC et compatibilité électromagnétique dans des structures existantes**

## **B.14 Synthèse des mesures de protection possibles**

### **B.14.1 Alimentation**

L'alimentation existante (voir Figure B.8, n°1) dans la structure est souvent en schéma TN-C, pouvant générer des perturbations de fréquence industrielle. Ces perturbations peuvent être évitées par des interfaces d'isolement (voir ci-dessous).

Si une nouvelle alimentation est installée (voir Figure B.8, n°2), le schéma TN-S est fortement recommandé.

### **B.14.2 Parafoudres**

Pour contrôler les surtensions conduites dans les lignes, Il convient d'installer des parafoudres à l'entrée de tout SPF et éventuellement en amont des matériels à protéger (voir Figure B.8, n°3 et Figure B.2).

### **B.14.3 Interfaces d'isolement**

Pour éviter des perturbations, des interfaces d'isolement entre les matériels existants et neufs peuvent être utilisées : matériel de Classe II isolé (voir Figure B.8, n°5), transformateurs d'isolement (voir Figure B.8, n°6), câbles à fibre optique ou coupleurs optiques (voir Figure B.8, n°7).

### **B.14.4 Cheminement et blindage**

Des grandes boucles dans le cheminement conduiraient à des tensions ou des courants induits très élevés. Elles peuvent être évitées par des cheminements adjacents des réseaux de puissance et de communication (voir Figure B.8, n°8) pour minimiser les surfaces de boucles. Il est recommandé d'utiliser des câbles écrantés. Pour des structures étendues avec écran, par exemple des câbles dans des conduits métalliques (voir Figure B.8, n°9) sont aussi recommandés. Il convient que tous les écrans soient mis à la terre à leurs deux extrémités.

Les mesures de cheminement et d'écran sont d'autant plus importantes que l'efficacité de l'écran est faible dans la ZPF 1 et que la boucle est grande.

### **B.14.5 Ecran spatial**

L'écran spatial d'une ZPF contre les champs magnétiques de foudre nécessite des mailles de largeurs inférieures à 5 m.

Une ZPF 1 est créée par une installation extérieure normale de protection contre la foudre conformément à la CEI 62305-3 (dispositif de capture, conducteurs de descente et prise de terre) dont les largeurs de mailles et les distances typiques sont supérieures à 5 m. Ainsi, l'effet d'écran est négligeable. Si un écran plus effectif est requis, il convient d'améliorer l'installation du SPF extérieur (voir Article B.4).

La ZPF 1 et supérieure peuvent nécessiter un écran spatial protégeant les réseaux de communication sensibles non conformes aux exigences d'émission de radio fréquence et aux exigences d'immunité.



#### **B.14.6 Equipotentialité**

L'équipotentialité pour des courants de foudre de plusieurs MHz nécessite un réseau maillé de faible impédance de mailles inférieures à 5 m. Il convient que tous les services pénétrant dans une SPF soient mis à la terre directement ou par un parafoudre approprié, aussi près que possible de la frontière de la SPF.

Si, dans les structures existantes, ces conditions ne peuvent être satisfaites, il convient de prévoir d'autres mesures de protection.

#### **B.15 Amélioration de l'alimentation et de la mise en œuvre des câbles dans la structure**

Les alimentations existantes de structures anciennes (voir Figure B.8, n°1) sont souvent réalisées en schéma TN-C. Les conducteurs PEN circulent dans la structure et peuvent entraîner des interférences à 50/60 Hz s'ils sont connectés aux lignes de données mises à la terre. Afin d'éviter de telles interférences, deux possibilités sont offertes :

- des interfaces d'isolement utilisant des matériels de Classe II ou des transformateurs à double isolation. Cela peut être une solution si peu de matériels électroniques sont utilisés (voir Article B.5),
- changement du système en alimentation en schéma TN-S (voir Figure B.8, n°2), solution recommandée spécialement pour des matériels électroniques de grande envergure.

Il convient de satisfaire aux exigences de mise à la terre, d'équipotentialité et de cheminement.

## **Annexe C** (informative)

### **Choix et mise en œuvre de parafoudres coordonnés**

#### **C.1 Introduction**

Les éclairs de foudre frappant directement une structure (source de dommage S1), frappant le sol à proximité de la structure (S2), frappant directement un service connecté à la structure (S3) et frappant le sol à proximité d'un service connecté à la structure (S4) peuvent entraîner des défaillances ou des dysfonctionnements des réseaux internes (voir article 5.1 de la CEI 62305-1).

La présente annexe fournit des informations sur le choix et la mise en œuvre d'un système de protection coordonnée par parafoudres. La CEI 61643-12 et la CEI 60364-5-53 donnent des informations complémentaires sur la protection contre les surintensités et les conséquences en cas de défaillance du parafoudre.

Les défaillances dues aux chocs dépassant le niveau d'immunité des matériels électroniques ne relèvent pas du domaine d'application de la série de la CEI 62305. Se reporter à la CEI 61000-4-5 pour de plus amples informations en la matière.

Cependant, les chocs de foudre sont fréquemment la cause de défaillances des réseaux de puissance et de communication dues à l'interruption de l'isolation ou lorsque les surtensions dépassent le niveau d'isolation en mode commun des matériels.

Le matériel est protégé si sa tension de tenue assignée de choc  $U_w$  au niveau de ses bornes (tension de tenue en mode commun) est supérieure à la surtension de choc entre les conducteurs actifs et la terre. Dans le cas contraire, un parafoudre doit être installé.

Ce type de parafoudre assure la protection du matériel si son niveau de protection en tension efficace  $U_{P/f}$  (le niveau de protection  $U_p$  obtenu lorsque le courant de décharge normal  $I_n$  s'écoule ajouté à la chute de tension inductive  $\Delta U$  des conducteurs de connexion) est inférieur à  $U_w$ . Il convient de noter que si le courant de décharge apparaissant au point d'installation du parafoudre dépasse la valeur désignée  $I_n$  du parafoudre, le niveau de protection  $U_p$  est supérieur et peut dépasser le niveau de tenue du matériel  $U_w$ . Dans ce cas, le matériel n'est plus protégé.

Il convient par conséquent de choisir le courant nominal  $I_n$  du parafoudre de valeur égale ou supérieure au courant de foudre de décharge prévu à ce point d'installation.

La probabilité qu'un parafoudre avec  $U_{P/f} \leq U_w$  ne soit pas en mesure de protéger de manière appropriée le matériel pour lequel il est prévu, équivaut à la probabilité que le courant de décharge au point d'installation du parafoudre considéré dépasse le courant auquel  $U_p$  a été déterminée.

L'évaluation des courants prévus à différents points de l'installation est donnée dans la CEI 62305-1, Annexe E. Elle se fonde sur le niveau de protection contre la foudre déterminé en appliquant la CEI 62305-2. Une analyse complète du partage du courant est nécessaire lorsque l'événement S1 doit être pris en compte. L'Annexe D de la présente norme donne des informations complémentaires à cet effet.

Il convient également de noter que le choix d'un parafoudre présentant une valeur inférieure  $U_p$  (par rapport à la valeur  $U_w$  du matériel) réduit les contraintes exercées sur le matériel ce

qui peut de ce fait donner lieu à une probabilité inférieure mais également à une durée de vie utile plus longue du matériel.

Les valeurs relatives à la probabilité  $P_{SPD}$  en fonction du niveau de protection contre la foudre sont données dans le Tableau B.3 de la CEI 62305-2.

NOTE Il est possible de déterminer les valeurs de  $P_{SPD}$  pour des parafoudres présentant de meilleures caractéristiques de protection si la tension en fonction de la caractéristique du courant du parafoudre est disponible.

Enfin, l'importance de l'application d'une protection par parafoudres aux circuits de puissance et de communication ne doit pas être sous-estimée si l'on utilise un système de protection coordonnée par parafoudres efficace.

## C.2 Choix des parafoudres

### C.2.1 Choix vis-à-vis du niveau de protection

Le choix du niveau de protection approprié du parafoudre dépend des éléments suivants :

- La tension de tenue aux chocs  $U_w$  du matériel à protéger,
- La longueur reliant les conducteurs de connexion au parafoudre,
- La longueur et le cheminement du circuit entre le parafoudre et le matériel.

Il convient que la tension de tenue aux chocs  $U_w$  des matériels soit définie :

- pour les réseaux de puissance et leurs matériels, selon la CEI 60664-1,
- pour les réseaux de communication et leurs matériels, selon l'UIT-T K.20, K.21 et K.45,
- pour les autres réseaux et leurs matériels, selon les informations obtenues auprès des constructeurs.

NOTE 1 Le niveau de protection  $U_p$  d'un parafoudre est lié à sa tension résiduelle pour un courant nominal défini  $I_n$ . Pour des courants plus forts ou plus faibles s'écoulant dans le parafoudre, la valeur de la tension aux bornes du parafoudre sera différente.

NOTE 2 Il convient de comparer le niveau de protection  $U_p$  avec la tension de tenue aux chocs  $U_w$  du matériel soumis à essai dans les mêmes conditions que le parafoudre (surtension, surintensité et énergie). Cette question est à l'étude.

NOTE 3 Des matériels peuvent intégrer des parafoudres. Les caractéristiques de ces parafoudres peuvent influencer sur la coordination.

Si un parafoudre est connecté au matériel à protéger, la chute de tension inductive  $\Delta U$  dans les conducteurs de connexion s'ajoutera au niveau de protection  $U_p$  du parafoudre. Ainsi, le niveau de protection résultant  $U_{p/f}$  est défini comme la somme de la tension en sortie du parafoudre résultant du niveau de protection et de la chute de tension dans les liaisons (voir Figure C.1) :

$$\begin{aligned} U_{p/f} &= U_p + \Delta U && \text{pour un parafoudre de type à limitation de tension} \\ U_{p/f} &= \max(U_p, \Delta U) && \text{pour un parafoudre de type à coupure.} \end{aligned}$$

NOTE 4 Pour certains parafoudres à coupure, il peut être nécessaire d'ajouter la tension d'arc  $\Delta U_{arc}$  à  $\Delta U$ . Cette tension d'arc peut être de plusieurs centaines de volts. Pour des parafoudres combinés, une formule plus complexe peut être nécessaire.

Si le parafoudre est installé à l'entrée du réseau dans la structure, il convient de supposer que  $\Delta U = 1$  kV par mètre. Lorsque la longueur des conducteurs de connexion est  $\leq 0,5$  m, il est possible de supposer que  $U_{p/f} = 1,2 U_p$ . Lorsque le parafoudre ne transporte que des chocs induits,  $\Delta U$  peut être négligée.

Lors du fonctionnement du parafoudre, la tension entre les bornes du parafoudre est limitée à  $U_{p/f}$  à l'emplacement du parafoudre. Si le circuit entre le parafoudre et le matériel est trop long, la propagation des chocs entraîne un phénomène d'oscillations. Dans le cas d'un circuit

ouvert aux bornes du matériel, la surtension peut augmenter au niveau des bornes jusqu'à  $2 \cdot U_{p/f}$  et entraîner la défaillance du matériel même si  $U_{p/f} \leq U_w$  a été choisie.

La CEI 61643-12 et la CEI 60364-5-53 donnent des informations sur les conducteurs de connexion et les configurations de connexion des parafoudres.

Par ailleurs, des coups de foudre directs sur la structure ou sur le sol à proximité de la structure peuvent induire une surtension  $U_i$  dans la boucle constituée par le parafoudre et le matériel, qui s'ajoute à  $U_{p/f}$  et réduit par conséquent l'efficacité du parafoudre. La surtension induite augmente avec les dimensions de la boucle (cheminement, longueur du circuit, distance entre le PE et les conducteurs actifs, surface de boucle entre les lignes de puissance et de communication) et diminue avec l'atténuation du champ magnétique (écran spatial et/ou de ligne).

NOTE 5 Pour l'évaluation des surtensions induites  $U_i$ , les spécifications de l'Article A.4 s'appliquent.

Les réseaux internes sont protégés si :

- ils sont coordonnés en énergie avec le parafoudre amont,
- l'une des conditions suivantes est satisfaite :

1)  $U_{p/f} \leq U_w$  : lorsque la longueur du circuit entre le parafoudre et le matériel est négligeable (cas typique d'un parafoudre installé aux bornes du matériel) ;

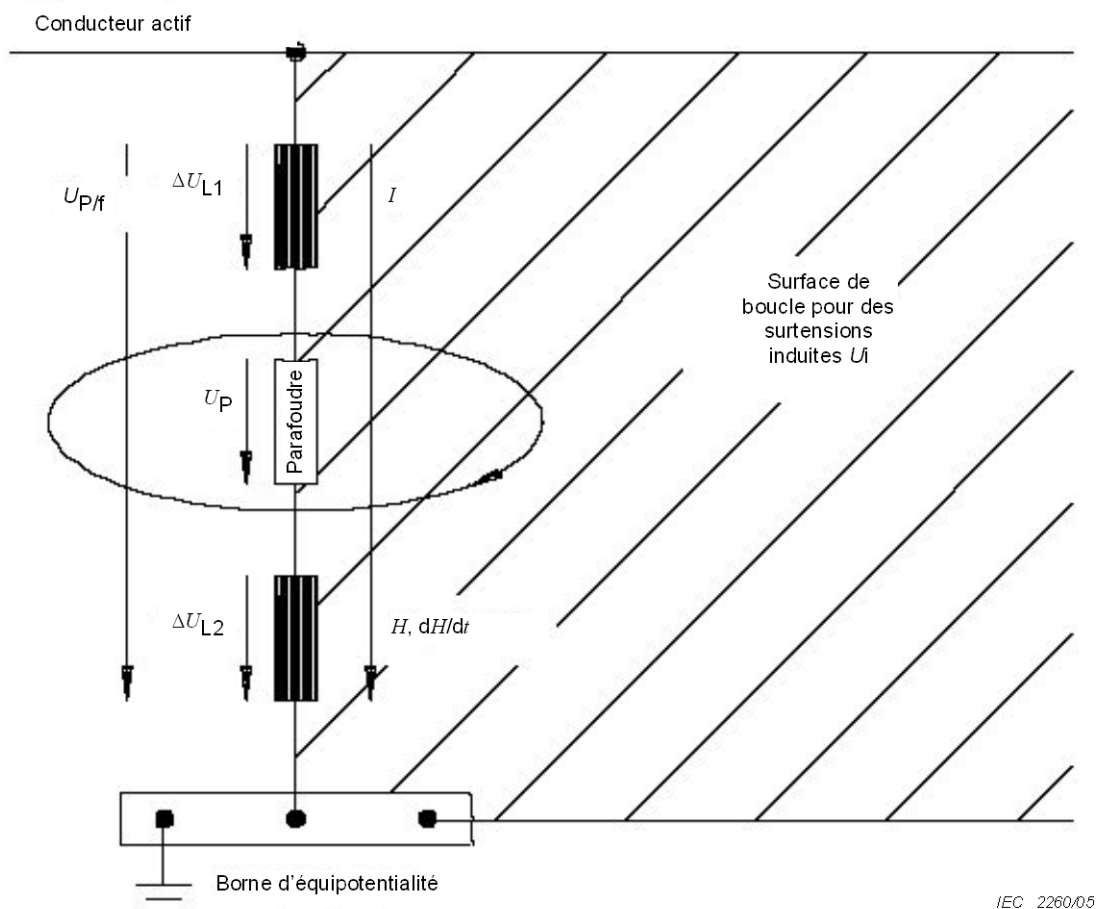
2)  $U_{p/f} \leq U_w/2$  : lorsque la longueur du circuit est de l'ordre de quelques mètres (cas typique d'un parafoudre installé au niveau d'un tableau secondaire de distribution ou d'une prise) ;

NOTE 7 Lorsque la défaillance n'engendre aucun danger pour l'installation ou le personnel, il est permis d'utiliser la règle simplifiée  $U_p < 0,8 U_w$ , à condition que le parafoudre soit installé à moins de 10 m du matériel à protéger.

3)  $U_{p/f} \leq (U_w - U_i)/2$  : lorsque la longueur du circuit est de l'ordre de quelques dizaines de mètres (cas typique d'un parafoudre installé à l'entrée du réseau dans la structure ou, dans certains cas, au niveau du tableau secondaire de distribution).

NOTE 8 Pour les lignes de communication blindées, différentes exigences peuvent s'appliquer du fait de la raideur du front d'onde. Des informations sur cet effet sont données dans le chapitre 10 de l'UIT-T Manuel relatif à la foudre.

Si des écrans spatiaux de la structure (ou des locaux) et/ou un blindage de ligne (utilisation de câbles blindés ou de conduits de câbles métalliques) sont fournis, les surtensions induites  $U_i$  sont négligeables et peuvent être omises.



$I$	courant partiel de foudre
$U_i$	surtension induite
$U_{P/f} = U_P + \Delta U$	surtension entre le conducteur actif et la borne d'équipotentialité
$U_P$	tension de limitation du parafoudre
$\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$	chute de tension inductive dans les conducteurs de connexion
$H, dH/dt$	champ magnétique et sa dérivée dans le temps

Note. La surtension  $U_{p/f}$  entre le conducteur actif et la borne d'équipotentialité est supérieure au niveau de protection  $U_p$  du parafoudre car la chute de tension inductive  $\Delta U$  dans les conducteurs (même si les valeurs maximales de  $U_p$  et de  $\Delta U$  n'apparaissent pas simultanément). De plus, le courant partiel de foudre s'écoulant dans le parafoudre induit une tension complémentaire dans la boucle côté protégé du circuit en aval du parafoudre. Ainsi, la tension maximale mettant en danger les matériels connectés peut être considérablement supérieure au niveau de protection  $U_p$  du parafoudre.

**Figure C.1 – Surtension entre un conducteur actif et la borne d'équipotentialité**

### C.2.2 Choix vis-à-vis de l'emplacement et du courant de décharge

Il convient que les parafoudres résistent à la décharge de courant présumée à leur emplacement conformément à l'Annexe E de la CEI 62305-1. L'utilisation des parafoudres dépend de leur tenue, classifiée dans la CEI 61643-1 pour la puissance, et dans la CEI 61643-21 pour les réseaux de communication.

Le choix des caractéristiques assignées de courant de décharge d'un parafoudre dépend du type de configuration de connexion et du type de réseau de distribution de puissance. Pour de plus amples informations à ce sujet, se reporter à la CEI 61643-12 et à la CEI 60364-5-53.

Il convient de choisir les parafoudres selon les points d'installation prévus comme suit :

- a) A l'entrée du réseau dans la structure (à la frontière de la ZPF 1, par exemple sur le tableau de distribution général MB)

- **Parafoudre soumis à essai sous  $I_{imp}$  (essai de Classe I)**

Il convient que le courant prescrit  $I_{imp}$  du parafoudre assure le passage du courant partiel de foudre prévu au point d'installation en se fondant sur le niveau de protection choisi conformément à l'Article E.1 et/ou à l'Article E.2 de la CEI 62305-1.

- **Parafoudre soumis à essai sous  $I_n$  (essai de Classe II)**

Ce type de parafoudre peut être utilisé quand les services entrants sont entièrement dans la ZPF 0<sub>B</sub> ou si la probabilité des défaillances des parafoudres dues aux sources de dommages S1 et S3 peut être négligée. Il convient que le courant nominal de décharge prescrit  $I_n$  du parafoudre couvre les chocs susceptibles d'apparaître dans l'installation en se fondant sur le niveau de protection choisi conformément à E.2.2 de la CEI 62305-1.

NOTE 8 Le risque de défaillances des parafoudres dues aux sources de dommages S1 et S3 peut être négligé si le nombre total d'éclairs frappant directement la structure ( $N_b$ ) et le service ( $N_L$ ) est conforme à la condition  $N_b + N_L \leq 0,01$ .

- b) A proximité des matériels à protéger (frontière de la ZPF 2 et supérieure, par exemple sur un tableau secondaire SB ou sur une prise de courant SA).

- **Parafoudre soumis à essai sous  $I_n$  (essai de Classe II)**

Il convient que le courant nominal de décharge prescrit  $I_n$  du parafoudre assure la protection contre le courant de foudre partiel prévu au point de l'installation en se fondant sur le partage du courant et le niveau de protection choisi conformément à E.3 de la CEI 62305-1.

- **Parafoudre soumis à essai en onde combinée  $U_{oc}$  (essai de Classe III)**

Ce type de parafoudre peut être utilisé quand les services entrants sont entièrement dans la ZPF 0<sub>B</sub> ou si le risque de défaillances des parafoudres dues aux sources de dommages S1 et S3 peut être négligé. Il convient que la tension assignée en circuit ouvert prescrite  $U_{OC}$  du parafoudre (de laquelle il est possible de déterminer le courant de court-circuit  $I_{sc}$  dans la mesure où l'essai de classe III est réalisé en combinaison avec un générateur d'onde et une impédance de 2 ohm) couvre les chocs susceptibles d'apparaître au point de l'installation en se fondant sur le niveau de protection et conformément à l'Article E.3 de la CEI 62305-1.

### C.3 Mise en œuvre de parafoudres coordonnés

L'efficacité des parafoudres coordonnés dépend non seulement d'un choix approprié, mais également de leur mise en œuvre. Les principaux aspects à considérer sont :

- l'emplacement des parafoudres,
- les conducteurs de connexion.

#### C.3.1 Emplacement des parafoudres

Il convient que l'emplacement des parafoudres soit conforme à C.1.2 et est principalement affecté par :

- une source spécifique de dommages (par exemple, coup de foudre direct sur la structure (S1) ou sur la ligne (S3), sur le sol à proximité de la structure (S2) ou de la ligne (S4)) ;
- l'opportunité d'écouler à la terre les surintensités dues aux chocs de foudre (aussi près que possible du point de pénétration de la ligne dans la structure).

Le premier critère à considérer est : plus le parafoudre est proche du point d'entrée de la ligne, plus est élevé le nombre de matériels protégés par le parafoudre (avantage

économique). Il convient de vérifier ensuite le second critère : plus le parafoudre est proche du matériel à protéger, meilleure est la protection (avantage technique).

### **C.3.2 Conducteurs de connexion**

Il convient que les conducteurs de connexion des parafoudres présentent des sections minimales définies dans le Tableau 1.

### **C.3.3 Coordination des parafoudres**

Dans une protection coordonnée par parafoudres, les parafoudres en cascade doivent être coordonnés en énergie conformément à la CEI 61643-12 et/ou à la CEI 61643-22. A cet effet, il convient que le constructeur de parafoudres donne suffisamment d'informations afin de réaliser cette coordination énergétique des parafoudres.

### **C.3.4 Méthode d'installation d'une protection coordonnée par parafoudres**

Il convient d'adopter la méthode d'installation suivante :

- A l'entrée du réseau dans la structure (à la frontière de la ZPF 1, par exemple en MB), installer un parafoudre 1 (C.1.2).
- Déterminer la tenue aux chocs  $U_w$  des réseaux internes à protéger.
- Choisir un niveau de protection  $U_{p1}$  du parafoudre 1.
- Vérifier les exigences stipulant que  $U_{Pf1} \leq (U_w - U_i)/2$ .

Si cette exigence est satisfaite, le matériel est correctement protégé par le parafoudre 1. Dans les autres cas, un(des) parafoudre(s) 2 complémentaire(s) est(sont) nécessaire(s).

- Si nécessaire, installer le parafoudre 2 à proximité du matériel (frontière de la ZPF 2, par exemple au point d'installation SB ou SA), coordonné en énergie avec le parafoudre 1 en amont (Article C.2.5).
- Choisir un niveau de protection  $U_{p2}$  du parafoudre 2.
- Vérifier les exigences stipulant que  $U_{Pf2} \leq (U_w/2)$  (Article C.1.1).

Si cette exigence est satisfaite, le matériel est correctement protégé par les parafoudres coordonnés 1 et 2.

- Dans les autres cas, un (des) parafoudre(s) 3 complémentaire(s) est (sont) nécessaire(s) à proximité du matériel (par exemple au point d'installation de prise SA) coordonné en énergie avec le parafoudre 1 et le parafoudre 2 en amont (Article C.2.5), satisfaisant à la condition  $U_{Pf3} \leq U_w$  (Article C.1.1).

## Annexe D (informative)

### Facteurs à prendre en compte lors du choix des parafoudres

#### D.1 Introduction

$I_{imp}$ ,  $I_{max}$  et  $I_n$ , sont les paramètres d'essai utilisés pour les essais de service de fonctionnement pour la Classe I et la Classe II. Ils sont liés aux valeurs maximales des courants de décharge prévus au niveau de probabilité de NPF à l'emplacement de l'installation du parafoudre dans le réseau.  $I_{max}$  est associé aux essais de Classe II et  $I_{imp}$  est associé aux essais de Classe I.

Les valeurs privilégiées de  $I_{imp}$ ,  $Q$ ,  $W/R$ , conformément à la CEI 61643-11 sont données dans le Tableau D.1.

$I_{imp}$ (kA)	1	2	5	10	12,5*	20
$Q$ (C)	0,5	1	2,5	5	6,25*	10
$W/R$ (kJ/Ω)	0,25	1	6,25	25	39*	100

Note 1 Le Tableau D.1 fait référence aux parafoudres connectés de la ligne au neutre (connexion CT1).

Note 2 \*Voir la CEI 60364-53-534.

Note 3 En règle générale,  $I_{imp}$  est associé à des formes d'onde plus longues (par exemple 10/350 μs) que  $I_{max}$ .

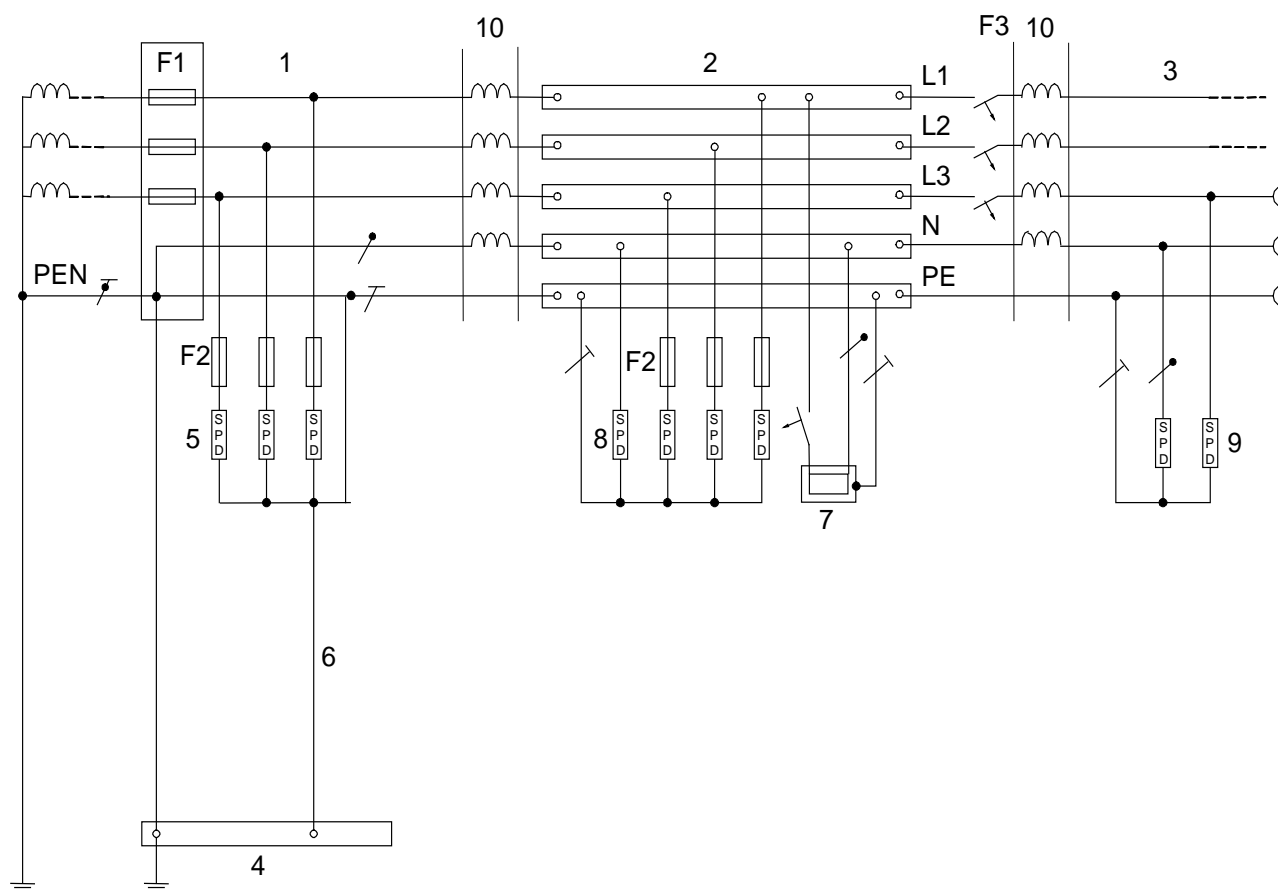
**Tableau D.1 – Valeurs privilégiées de  $I_{imp}$**

#### D.1.1 Facteurs déterminant la contrainte exercée sur un parafoudre

La contrainte à laquelle est exposé un parafoudre dans des conditions de choc dépend de nombreux paramètres complexes et corrélés, qui comprennent :

- L'emplacement du ou des parafoudres dans la structure – Voir Figure D.1.





### Légende :

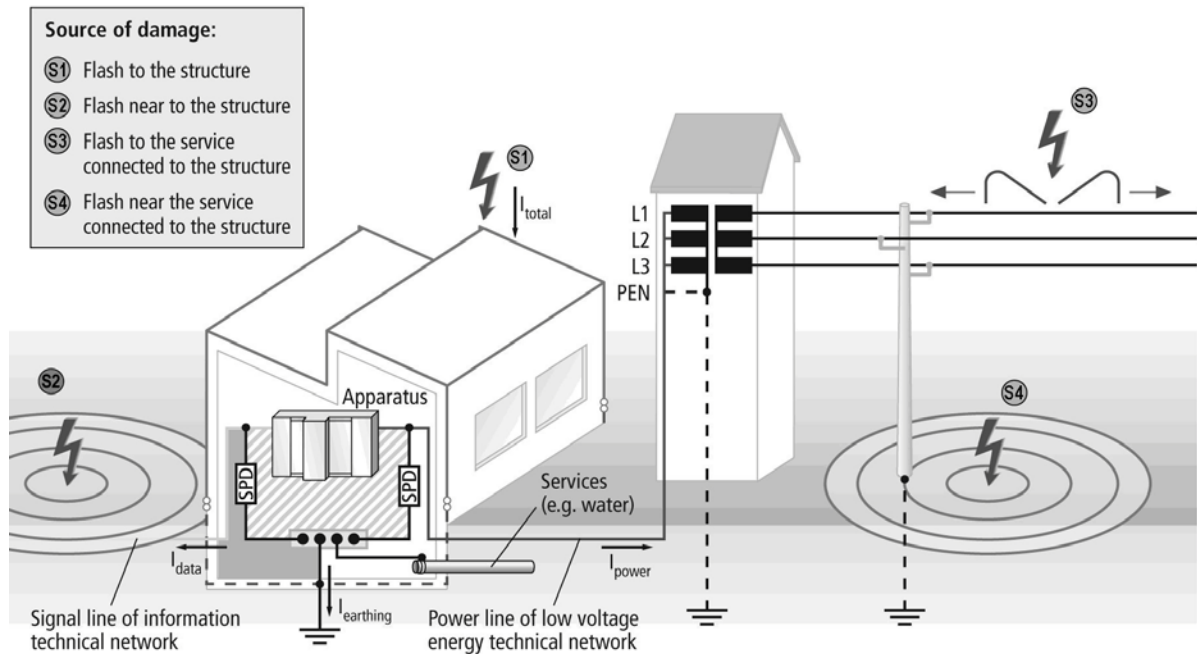
SPD = parafoudre

- |  |  |
|--|--|
| 1 Origine de l'installation  | 7 Matériel fixe à protéger                                     |
| 2 Tableau de distribution  | 8 Parafoudre, Soumis à essai de Classe II                      |
| 3 Prise de distribution  | 9 Parafoudre, Soumis à essai de Classe II ou III               |
| 4 Borne ou barre principale d'équipotentialité                               | 10 Eléments de découplage ou longueur de ligne                 |
| 5 Parafoudre, Soumis à essai de Classe I ou II                               | F1, F2, F3 Sectionneurs de protection contre les surintensités |
| 6 Connexion de mise à la terre (conducteur de mise à la terre) du parafoudre |  |

NOTE 1 Se reporter à la CEI 61643-12 pour de plus amples informations.

**Figure D.1 – Exemple d'installation d'essai de parafoudres de Classe I, de Classe II et de Classe III**

- Méthode de couplage du foudroiement direct sur l'installation (voir Figure D.2) – s'agit-il par exemple d'un coup de foudre frappant directement le SPF de la structure (S1), ou par induction dans le câblage du bâtiment du fait d'un coup de foudre frappant le sol à proximité du bâtiment (S2), ou des services alimentant la structure (S3 et S4) ?



Source of damage	Source de dommage
Flash to the structure	Eclair frappant directement la structure
Flash near to the structure	Eclair frappant le sol à proximité de la structure
Flash to the service connected to the structure	Eclair frappant directement le service connecté à la structure
Flash near the service connected to the structure	Eclair frappant le sol à proximité du service connecté à la structure
Apparatus	Appareil
Services (e.g. water)	Services (par exemple, eau)
Signal line of information technical network	Service de communication de réseau technique d'information
Power line of low voltage energy technical network	Service de puissance de réseau technique basse tension
Earthing	Mise à la terre

**Figure D.2 – Exemple de base de différentes sources de dommages à une structure et distribution du courant de foudre dans un réseau**

- Distribution des courants de foudre dans la structure – par exemple, proportion de courant de foudre pénétrant dans le réseau de mise à la terre, et proportion restante s'écoulant jusqu'aux prises de terre distantes par les services pénétrant dans la structure (par exemple, réseau de distribution de puissance, canalisations métalliques, services de télécommunication etc.) et les parafoudres d'équipotentialité utilisés.
- La résistance et l'inductance des services pénétrant dans la structure, dans la mesure où ces composantes affectent la valeur crête du courant  $I_{peak}$  et les rapports de distribution Q de charge.
- Services conducteurs complémentaires connectés à l'installation – ils transportent une partie du courant de foudre direct et réduisent par conséquent la partie qui s'écoule par le réseau de distribution de puissance via le ou les parafoudres d'équipotentialité de foudre. Il convient de veiller à la permanence de ce type de services du fait de l'éventuel remplacement par des éléments non conducteurs.
- Type de forme d'onde à considérer – il n'est pas possible de ne considérer que le courant crête que le parafoudre doit conduire dans des conditions de choc, il faut donc tenir également compte de la forme d'onde de ce choc (par exemple, 10/350  $\mu$ s)

- couvrant le courant de foudre direct et partiel, 8/20  $\mu$ s couvrant le courant de foudre induit) et de la charge globale Q.
- Toutes structures complémentaires interconnectées à la structure primaire par le service de puissance, car elles affectent également le partage du courant.

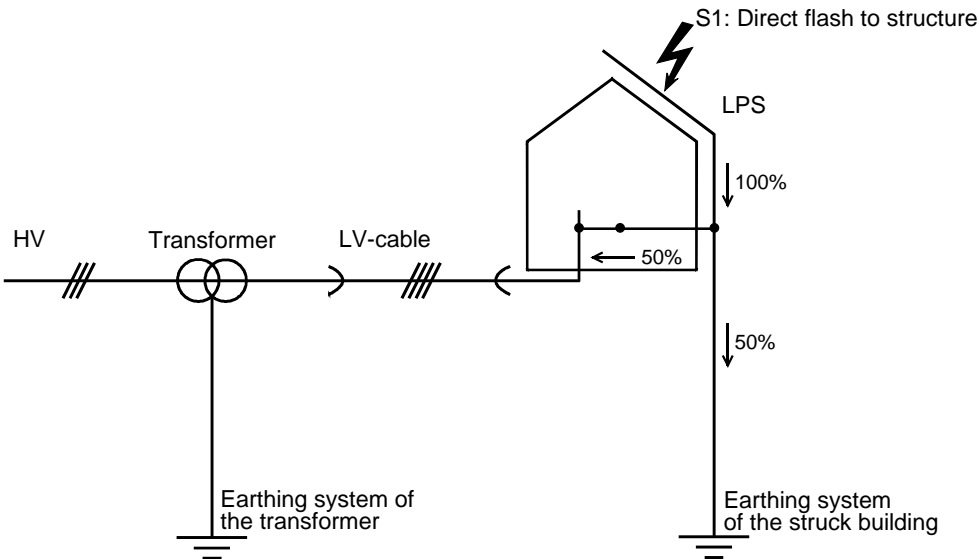
D.2 Quantification du niveau de menace statistique pour un parafoudre

De nombreuses tentatives ont été faites pour quantifier l'environnement électrique et le « niveau de menace » auquel un parafoudre peut être exposé à différents emplacements dans une installation. Par exemple, pour un parafoudre installé à l'entrée d'un service équipé d'un SPF de structure, le niveau de menace dépend du niveau de protection contre la foudre (NPF) requis selon l'évaluation des risques concernant la structure considérée, et ce afin de limiter ce type de risque à un niveau tolérable (voir Article 6 de la CEI 62305-1).

La présente norme stipule que pour un NPF I, la magnitude d'un coup de foudre frappant directement (S1) le SPF de la structure peut atteindre une valeur de 200 kA avec une forme d'onde de 10/350  $\mu$ s (voir Article 8.1 et Annexe A de la CEI 62305-1). Cependant, bien qu'il convienne de choisir des parafoudres conformes au NPF requis et identifié par l'évaluation des risques, d'autres facteurs peuvent avoir une incidence sur la magnitude du courant de foudre concernant le parafoudre.

D.2.1 Facteurs de l'installation affectant la distribution du courant

En l'absence de calcul spécifique de partage du courant (voir CEI 62305-1, Article E.1), il est supposé de manière générale que 50 % de ce courant est conduit vers le réseau de mise à la terre du bâtiment, et que 50 % retournent par le ou les parafoudres d'équipotentialité. Pour le NPF I, ceci implique que la part de la décharge initiale de 200 kA exercée sur chaque parafoudre,  $I_{imp}$ , est de 25 kA pour un réseau de distribution de puissance triphasé plus neutre – voir Figure D.3.



S1 : direct flash to structure	S1 : éclair frappant directement la structure
LPS	SPF
HV	HT
Transformer	Transformateur
LV-cable	Câble BT

Earthing system of the transformer	Réseau de mise à la terre du transformateur
Earthing system of the struck building	Réseau de mise à la terre du bâtiment frappé par la foudre

**Figure D.3 – Exemple de base de distribution partagée du courant**

Cependant, si l'on considère trois services métalliques alimentant la structure et si l'on adopte le modèle de la CEI 62305-1, Article E1, le courant total,  $I_{imp}$ , s'écoulant vers chaque parafoudre d'équipotentialité dans le réseau triphasé atteint une valeur de 8,3 kA.

La distribution du courant de foudre dans un réseau de distribution de puissance est fortement influencée par la mise à la terre des services pénétrant dans la structure. Par exemple, pour le réseau en schéma TN-C avec son neutre mis à la terre en plusieurs emplacements, une mise à la terre plus directe avec une impédance plus faible que pour un réseau en schéma TT est prévue pour les courants de foudre.

Des hypothèses simplifiées de dispersion du courant sont utiles lorsqu'il s'agit de déterminer le niveau de menace possible auquel le ou les parafoudres peuvent être exposés mais il est important de les formuler en fonction du contexte considéré. De plus, il a été supposé que la forme d'onde de cette composante du courant dans le ou les parafoudres est identique à celle de la décharge initiale, bien que dans la réalité, la forme d'onde peut avoir été modifiée par l'impédance du câblage du bâtiment, etc.

Des simulations informatisées peuvent aider à tenir compte de ces facteurs pour effectuer un bon choix de parafoudres. Afin de pouvoir évaluer la dispersion du courant de foudre pour un réseau complexe, il est nécessaire de convertir le réseau du monde réel, tel qu'illustré dans l'exemple de la Figure D.2, en un schéma de circuit électrique équivalent.

De nombreuses normes ont préféré fonder leur analyse sur l'expérience acquise sur le terrain au fil du temps plutôt que de considérer le niveau de menace auquel un parafoudre peut être exposé. Le Tableau E.2 de la CEI 62305-1 est principalement fondé sur l'expérience de terrain.

## **D.2.2 Considérations relatives au choix des caractéristiques assignées des parafoudres : $I_{imp}$ , $I_{max}$ , $I_n$ , $U_{oc}$**

Sur la base des éléments susmentionnés, il est clair que le choix des caractéristiques assignées appropriées  $I_{max}$ ,  $I_{imp}$  et  $I_n$  d'un parafoudre dépend de nombreux paramètres complexes et corrélés.

Il est important de tenir compte du fait que le risque de dommage des réseaux de communication dans une structure en raison de chocs provenant des :

- effets induits de couplage des lignes de puissance, de communication et de données (S4),
- effets d'IEMF de couplage provenant des chocs à proximité de la structure (S2),

peut souvent être plus important que ceux dus aux effets des chocs de foudre frappant directement la structure proprement dite (S1) ou les services (S3).

De nombreux bâtiments ne nécessitent pas une protection contre les coups de foudre frappant directement la structure ou les services entrants, et de ce fait l'exigence relative aux parafoudres soumis à essai de Classe I ne s'applique pas, et un système de parafoudres soumis à essai de Classe II correctement conçu peut se révéler approprié.

En règle générale, il convient d'appliquer la méthode utilisant un parafoudre soumis à essai de Classe I impliquant des courants de foudre directs ou partiels (S1/S3) et un parafoudre soumis à essai de Classes II/III pour les effets induits (S2/S4).

Pour traiter ces complexités, il faut tenir compte du fait que l'aspect le plus important pour choisir un parafoudre réside dans sa caractéristique de limitation de tension ( $U_p$ ) pendant l'événement de choc prévu, et la tenue énergétique ( $I_{imp}$ ,  $I_{max}$ ,  $I_n$ ,  $U_{oc}$ ) qu'il peut assurer (voir Tableau B.3 Note 2 et Tableau B.7 Note 3, Annexe B de la CEI 62305-2).

A la valeur prévue  $I_n$ , un parafoudre avec une tension de limitation inférieure à la tension de tenue du matériel assure la protection du matériel, notamment pour ce qui concerne les facteurs extérieurs qui créent des tensions supplémentaires (chute de tension sur les conducteurs de connexion, oscillations et phénomènes d'induction). En revanche, un parafoudre avec une énergie de tenue supérieure à celle requise au point d'installation peut ne prolonger que la durée de vie utile du parafoudre. Cependant, un parafoudre avec une tension de limitation inférieure risque d'être plus sensible aux éventuels dommages dus aux surtensions temporaires (TOV) lorsqu'il est installé sur des réseaux de puissance à faible régulation.

## **Bibliographie**

- [1] CEI 61000-1-1:1992, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 1: Généralités – Section 1: Application et interprétation de définitions et termes fondamentaux*
  - [2] CEI 61000-5-6:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-6: Guides d'installation et d'atténuation – Atténuation des influences externes EM*
-