



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.40

(10/96)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

**Protection des centres de télécommunication
contre les impulsions électromagnétiques
dus à la foudre**

Recommandation UIT-T K.40

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE K
PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

AVANT-PROPOS

L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT (Helsinki, 1^{er}-12 mars 1993).

La Recommandation UIT-T K.40, que l'on doit à la Commission d'études 5 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Genève, 9-18 octobre 1996).

NOTES

1. Dans la présente Recommandation, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue de télécommunications.
2. Les termes «annexe» et «appendice» aux Recommandations de la série K ont la signification suivante:
 - une *annexe* à une Recommandation fait partie intégrante de la Recommandation;
 - un *appendice* à une Recommandation ne fait pas partie de la Recommandation, il contient seulement quelques explications ou informations complémentaires spécifiques à cette Recommandation.

© UIT 1997

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

| | <i>Page</i> |
|--|-------------|
| 1 Introduction | 1 |
| 2 Domaine d'application..... | 1 |
| 3 Références | 1 |
| 4 Définitions..... | 2 |
| 5 Configuration de référence..... | 2 |
| 6 Besoins de protection | 2 |
| 7 Mesures de protection | 3 |
| 7.1 Principes généraux: zones de protection contre la foudre (LPZ)..... | 3 |
| 7.2 Mise à la terre | 5 |
| 7.3 Liaison équipotentielle: réseau CBN minimal..... | 5 |
| 7.4 Cheminement des câbles..... | 7 |
| 8 Mesures de protection additionnelles..... | 7 |
| 8.1 Généralités | 7 |
| 8.2 Blindage..... | 7 |
| Appendice I – Simulation des effets des impulsions LEMP – Montage d'essai..... | 7 |
| Appendice II – Gestion de la protection..... | 10 |
| II.1 Nouveaux centres de télécommunication | 10 |
| II.2 Centres de télécommunication existants..... | 10 |
| Bibliographie..... | 12 |

RÉSUMÉ

La présente Recommandation propose des directives en matière de conception des systèmes de protection des structures de télécommunication contre les impulsions électromagnétiques engendrées dues à la foudre (LEMP). Le concept de zones de protection contre la foudre y est présenté sous la forme d'un ensemble dans lequel sont fusionnées des mesures de protection particulières telles que la mise à la terre, l'équipotentialité, le cheminement des câbles et leur blindage. Des informations sur la simulation des effets des impulsions LEMP ainsi qu'une liste de pointage des mesures de protection dans les bâtiments actuels et en construction y figurent également.

PROTECTION DES CENTRES DE TÉLÉCOMMUNICATION CONTRE LES IMPULSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES DUES À LA FOUDRE

(Genève, 1996)

1 Introduction

La présente Recommandation a pour objet d'exposer les principes d'installation et d'essai nécessaires pour protéger une structure de télécommunication contre les impulsions électromagnétiques dues à la foudre (LEMP, *lightning electromagnetic pulse*). Elle est axée sur la conception d'un système de protection efficace de l'environnement des structures de télécommunication.

Les directives techniques d'installation figurant dans la présente Recommandation sont fondées sur les normes suivantes, établies par le Comité d'études 81 de la CEI: «Protection des structures contre la foudre, Partie 1 – Principes généraux» (CEI 1024-1) et «Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre; Partie 1 – Principes généraux» (CEI 1312-1).

Les principes de base de la protection des structures contre les impulsions LEMP, à savoir la mise à la terre, le blindage et l'équipotentialité, figurent dans les Recommandations K.27 et K.35. Si, après l'application de ces principes à une structure, les résultats de l'évaluation des risques par la méthode de la Recommandation K.39 font apparaître que des mesures de protection additionnelles sont nécessaires, on trouvera dans la présente Recommandation des indications sur les mesures spéciales à prendre. Les centres de télécommunication surmontés d'antennes ou dont les antennes sont proches présentent un risque accru car ils sont davantage exposés aux éclairs directs; de ce fait, il faut accorder une attention particulière à ce type de structure.

2 Domaine d'application

Les prescriptions de la présente Recommandation s'appliquent aux structures actuelles et nouvelles, telles que les centres de télécommunication, les grandes installations d'abonné et les installations distantes; elle contient des conseils sur la conception et l'installation de mesures de protection contre les impulsions LEMP afin de limiter les dommages auxquels sont exposés les équipements et le câblage à l'intérieur de ces structures.

3 Références

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui de ce fait en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée.

- [1] Publication 1024-1-1 de la CEI:1993, *Protection des structures contre la foudre, Partie 1: Principes généraux – Section 1: Guide A – Choix des niveaux de protection pour les systèmes de protection contre la foudre.*
- [2] Publication 1312-1 de la CEI:1995, *Protection contre l'impulsion électromagnétique générée par la foudre – Partie 1: Principes généraux.*
- [3] Publication 1312-4 de la CEI:1995, *Application guide for protection against LEMP.*
- [4] Recommandation UIT-T K.27 (1996), *Configurations équipotentielle et mise à la terre dans les bâtiments de télécommunication.*
- [5] Recommandation UIT-T K.35 (1996), *Configurations équipotentielle et mise à la terre dans les installations électroniques distantes.*
- [6] Recommandation UIT-T K.39 (1996), *Evaluation des risques d'endommagement des installations de télécommunication par la foudre.*
- [7] Manuel UIT-T (1978), *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre.*

4 Définitions

Tous les termes et définitions définis dans la Publication 1024-1 de la CEI s'appliquent à la présente Recommandation. Les termes et définitions additionnels suivants s'appliquent également.

4.1 liaison équipotentielle: moyen permettant d'établir un contact direct ou indirect (passant par un dispositif de protection contre les surtensions) entre des éléments métalliques.

4.2 réseau équipotentiel commun (CBN, *common bonding network*): principal moyen pour établir la liaison d'équipotentialité et la mise à la terre à l'intérieur d'un bâtiment de télécommunication. Il s'agit d'un ensemble de composants métalliques qui sont, intentionnellement ou non, interconnectés pour constituer le principal réseau équipotentiel du bâtiment. Au nombre de ces composants figurent la structure ou l'armature métallique du bâtiment, les canalisations sanitaires métalliques, les conduits de distribution électrique en courant alternatif, les conducteurs de protection, les chemins de câble et les conducteurs d'équipotentialité. Le réseau CBN a toujours une topologie maillée et est connecté au réseau de terre (d'autres informations sont données dans la Recommandation K.27).

4.3 réseau équipotentiel commun minimal (MCBN, *minimum common bonding network*): configuration minimale nécessaire pour la protection contre les impulsions LEMP dans un centre de télécommunication. On peut installer des liaisons d'équipotentialité supplémentaires pour améliorer la protection contre les impulsions LEMP et réduire les risques de dégradations. Comme indiqué dans diverses parties de la présente Recommandation, l'efficacité de ces améliorations peut être évaluée par la méthode de la Recommandation K.39.

4.4 LPS système de protection contre la foudre (*lightning protection system*).

4.5 LPZ zone de protection contre la foudre (*lightning protection zone*).

4.6 dispositif de protection contre les surtensions; parasurtension: dispositif servant à limiter les surtensions transitoires et à dériver les courants de pointe. Il contient au moins une composante non linéaire.

5 Configuration de référence

Dans la configuration de référence – autrement dit, le type d'environnement des télécommunications pour lequel les prescriptions de la présente Recommandation doivent être envisagées – il y a lieu de prendre en considération les pylônes de télécommunication sur le toit du bâtiment ou à proximité de la structure.

Dans cette configuration, un éclair atteignant directement le pylône de télécommunication est la source du phénomène des impulsions LEMP. Lorsque le courant de foudre traverse le pylône, il crée un champ électromagnétique intense; l'impulsion se couple avec les câblages internes et externes des équipements se trouvant dans la structure de télécommunication, induisant des surtensions et des surintensités pouvant détruire des composants électroniques de ces équipements.

En raison de l'élévation du potentiel de terre, un mécanisme de couplage résistif se produit également et une partie du courant de foudre circulera dans les écrans des câbles, produisant des différences de potentiel entre conducteurs et écran. Le couplage résistif peut également amorcer les parasurtensions installés à l'entrée des câbles de télécommunication; la perturbation due aux impulsions LEMP est alors propagée par l'âme du câble de télécommunication, ce qui peut endommager celui-ci si la tension de claquage de l'isolation entre le blindage et l'âme isolée est dépassée. Cela peut se produire non seulement dans les câbles de télécommunication mais également dans une large mesure dans les conducteurs d'alimentation électrique, ce qui peut entraîner des problèmes pour les équipements connectés au réseau d'alimentation si leur immunité aux fortes décharges est plus faible que le niveau de protection assuré par les parasurtensions du réseau. Voir la Figure 1.

6 Besoins de protection

Pour évaluer les besoins de protection d'une structure donnée contre l'impulsion LEMP, il convient de se référer à la Recommandation K.39 et d'évaluer le risque d'atteinte directe par la foudre de la structure principale (R_d) et d'une structure proche (R_a). Si le calcul fait apparaître que le risque R est plus élevé que le niveau acceptable R_{accept} ($R > R_{\text{accept}}$), il y a lieu de prendre en considération les méthodes de protection suggérées ci-après pour atteindre un niveau de risque acceptable.

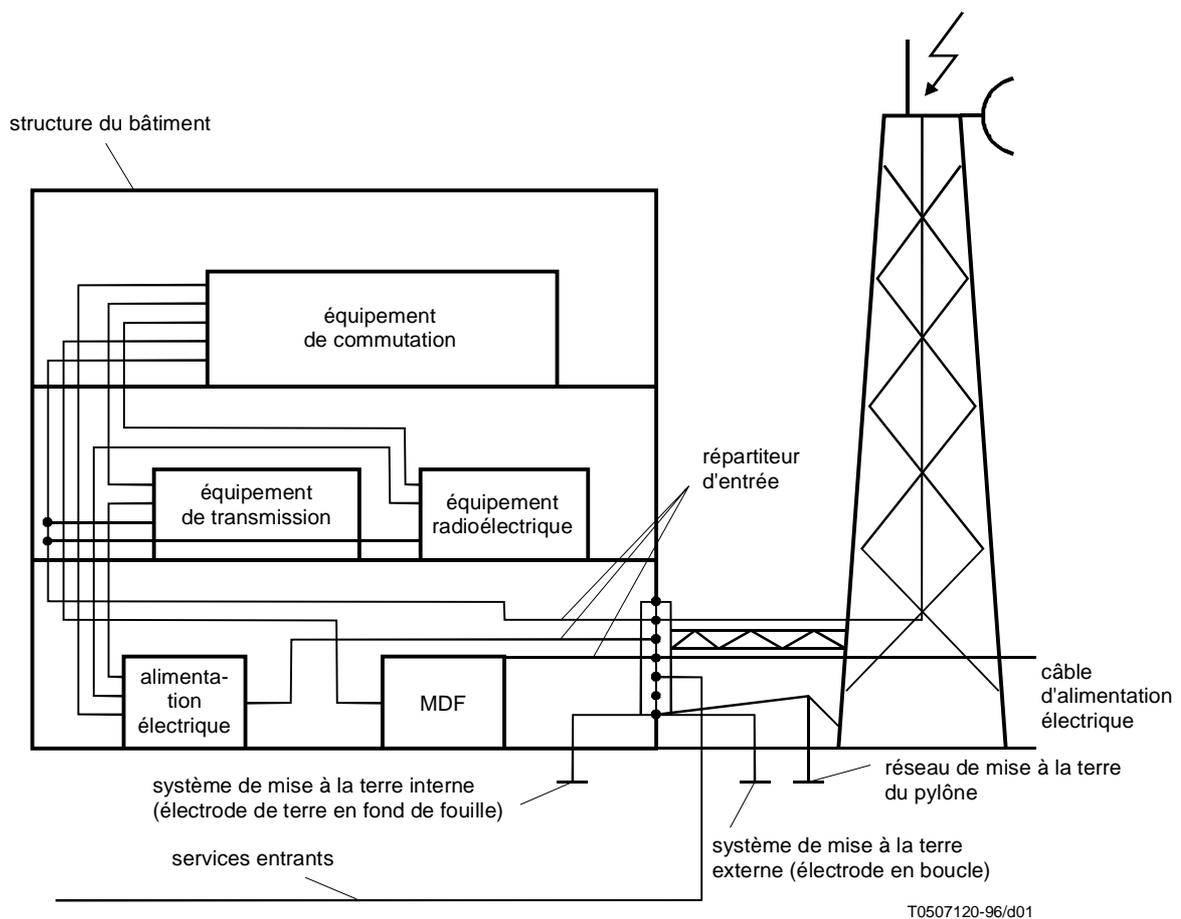


Figure 1/K.40 – Exemple de configuration de référence

7 Mesures de protection

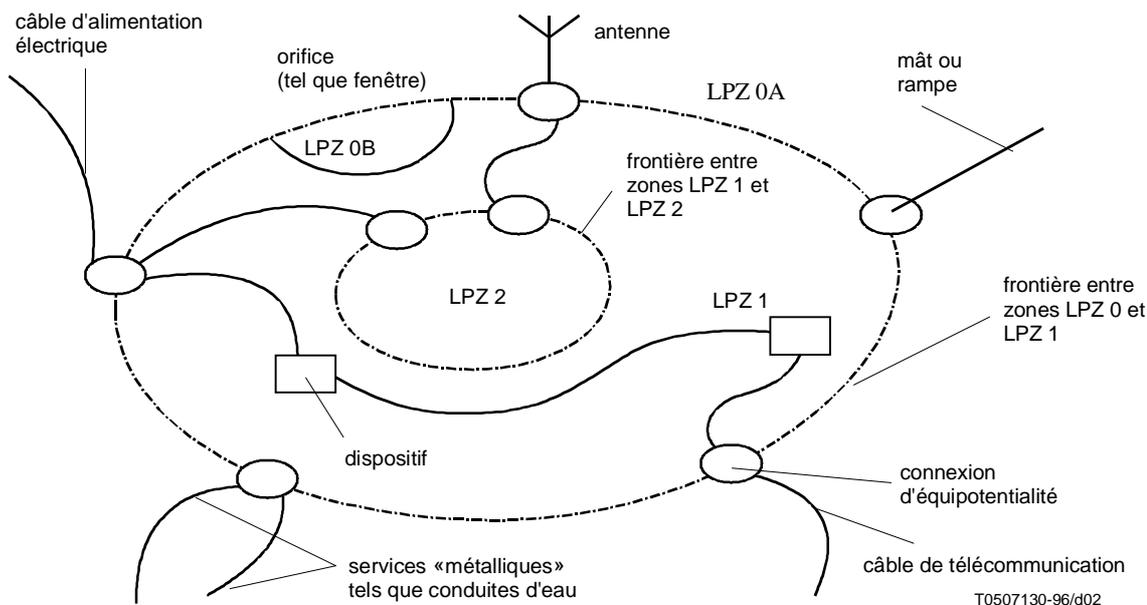
Les paragraphes qui suivent contiennent les mesures proposées pour obtenir la protection contre les impulsions LEMP compte tenu de l'immunité des interfaces entre les équipements et le câblage interne.

7.1 Principes généraux: zones de protection contre la foudre (LPZ)

Il est intéressant de diviser le site de télécommunication à protéger en zones de protection contre la foudre afin de définir les volumes des différents niveaux de gravité de l'impulsion LEMP et pour déterminer l'emplacement des points équipotentiels aux limites des zones. Voir la Figure 2.

Les limites de ces zones sont caractérisées par des modifications importantes des conditions électromagnétiques.

A la frontière des zones individuelles, il y a lieu de prévoir une liaison équipotentielle de tous les éléments métalliques entrants et de mettre en place des blindages. Les connexions aux frontières entre les zones LPZ 0 et LPZ 1 définissent la liaison équipotentielle. Il convient de noter que les champs électromagnétiques à l'intérieur d'une structure sont influencés par des ouvertures telles que des fenêtres, par les courants dans des conducteurs métalliques (tels que barres d'équipotentialité, blindages de câbles et tubes) et par le cheminement des câbles.



- LPZ 0:** les éléments contenus dans cette zone sont exposés à des conditions électromagnétiques non atténuées dues à la foudre. Il est utile de diviser la zone LPZ 0 en zones LPZ 0A et LPZ 0B.
- LPZ 0A:** les éléments de cette zone sont exposés aux éclairs directs, raison pour laquelle ils doivent pouvoir supporter des chocs entiers. C'est ici que se produit le champ électromagnétique non affaibli.
- LPZ 0B:** les éléments de cette zone ne sont pas exposés aux chocs de foudre directs mais sont exposés au champ électromagnétique non affaibli.
- LPZ 1:** les éléments de cette zone ne sont pas exposés aux chocs de foudre directs. Dans toutes les parties conductrices de cette zone, l'intensité sera réduite par rapport à celle de la zone 0. Dans cette zone, le champ électromagnétique peut être affaibli en fonction des blindages prévus. En ce qui concerne les bâtiments de télécommunication, on trouve en pratique des installations blindées et des installations non blindées
- Autres zones (LPZ 2, etc.):** on peut délimiter d'autres zones s'il est nécessaire de réduire les courants conduits et/ou le champ électromagnétique. Les prescriptions s'appliquant à cette zone peuvent être établies compte tenu des besoins de protection du système

Figure 2/K.40 – Zones LPZ d'une structure à protéger

La Figure 3 montre un exemple de subdivision d'un centre de télécommunication en plusieurs zones. Dans le cas présent, toutes les lignes d'alimentation et de télécommunication entrent dans le volume protégé (LPZ 1) en un même point et sont connectées à la barre d'équipotentialité 1, à la frontière entre les zones LPZ 0 et LPZ 1. De plus, des lignes sont connectées à la barre d'équipotentialité interne à la frontière entre les zones LPZ 1 et LPZ 2. Le blindage extérieur 1 de la structure est connecté à la barre d'équipotentialité 1 et le blindage interne à la barre d'équipotentialité 2. Lorsque les câbles passent d'une zone LPZ à une autre, il faut une liaison équipotentielle à chaque frontière. La zone LPZ 2 est construite de telle manière que les courants de foudre partiels ne sont pas acheminés vers ce volume et ne peuvent pas le traverser.

En ce qui concerne le système de mise à la terre interne, on constate souvent la présence d'un conducteur en boucle (qui n'est pas représenté sur la figure) permettant des connexions d'équipotentialité plus courtes entre les différentes zones LPZ à l'intérieur du bâtiment et améliorant les performances aux fréquences élevées. Dans la plupart des centres de télécommunication, il ne sera pas nécessaire de construire une salle pour le blindage 2 car la frontière avec la zone LPZ 2 peut être la structure de l'équipement.

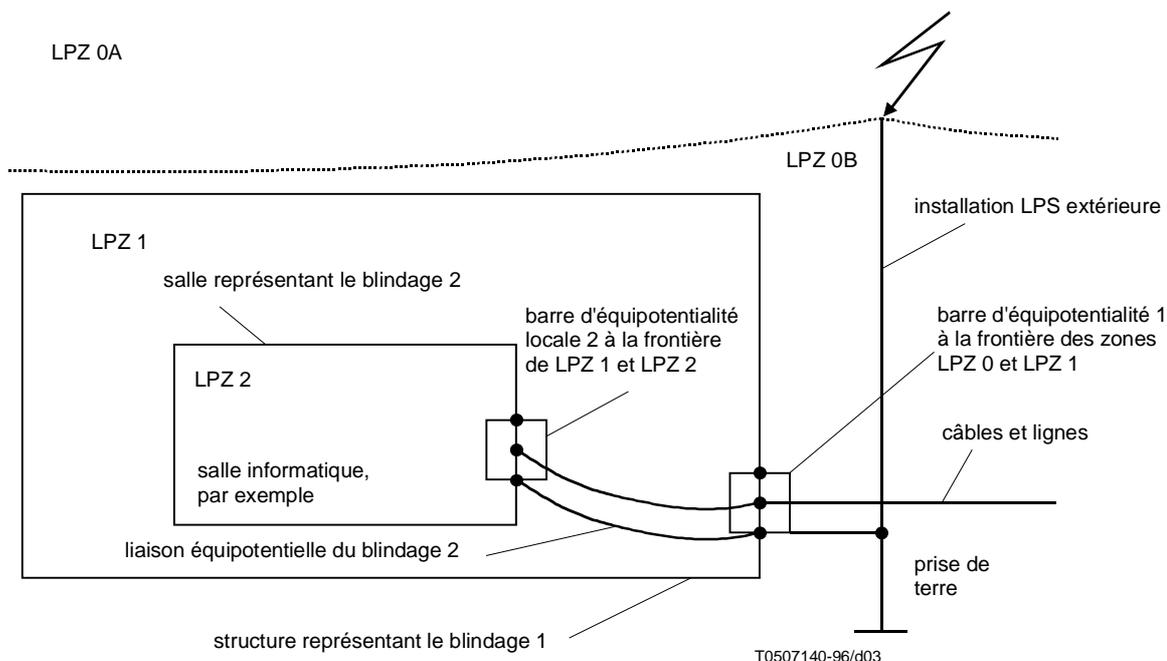


Figure 3/K.40 – Exemple de zone LPZ dans un centre de télécommunication

7.2 Mise à la terre

L'électrode de terre en boucle générale d'un centre de télécommunication est décrite dans les Recommandations K.27 et K.35.

S'il y a des structures proches reliées par des câbles d'alimentation et de communication, les systèmes de mise à la terre doivent être interconnectés; il est également utile de disposer de nombreux trajets parallèles formant un réseau maillé dans le sol afin de diminuer les courants dans les câbles. Les câbles de transmission et d'alimentation doivent être correctement blindés ou être posés dans des conduits métalliques connectés aux deux extrémités au réseau de mise à la terre afin de diminuer les effets des courants de foudre.

La Figure 4 illustre les principes ci-dessus.

7.3 Liaison équipotentielle: réseau CBN minimal

La fonction de la liaison équipotentielle est de réduire les différences de potentiel entre les parties métalliques et les systèmes à protéger à l'intérieur d'un volume, quand celui-ci est frappé par la foudre. A cet effet, il faut disposer d'un réseau équipotentiel commun minimal (MCBN).

Il est nécessaire de prévoir et d'installer une liaison équipotentielle aux frontières des zones LPZ pour les parties métalliques et les systèmes traversant les frontières, de même que pour les pièces métalliques et les systèmes internes de la zone LPZ. La connexion aux barres d'équipotentialité est réalisée au moyen de conducteurs équipotentiels et de brides et, en cas de nécessité, au moyen de dispositifs de protection contre les surtensions.

Le réseau MCBN est défini de la manière suivante:

- à chaque niveau du centre de télécommunication, une ceinture conductrice suit le périmètre intérieur du bâtiment. Des précisions concernant les méthodes habituellement utilisées pour cette ceinture conductrice sont données dans les Recommandations K.27 et K.35;
- la connexion entre la ceinture conductrice de chaque niveau et les conducteurs d'équipotentialité verticaux forme approximativement une cage de Faraday; la distance entre conducteurs verticaux doit être de 5 m environ ou moins;
- au niveau du sol, une connexion est réalisée entre la ceinture conductrice et l'électrode de terre en boucle.

La Figure 5 représente un réseau MCBN.

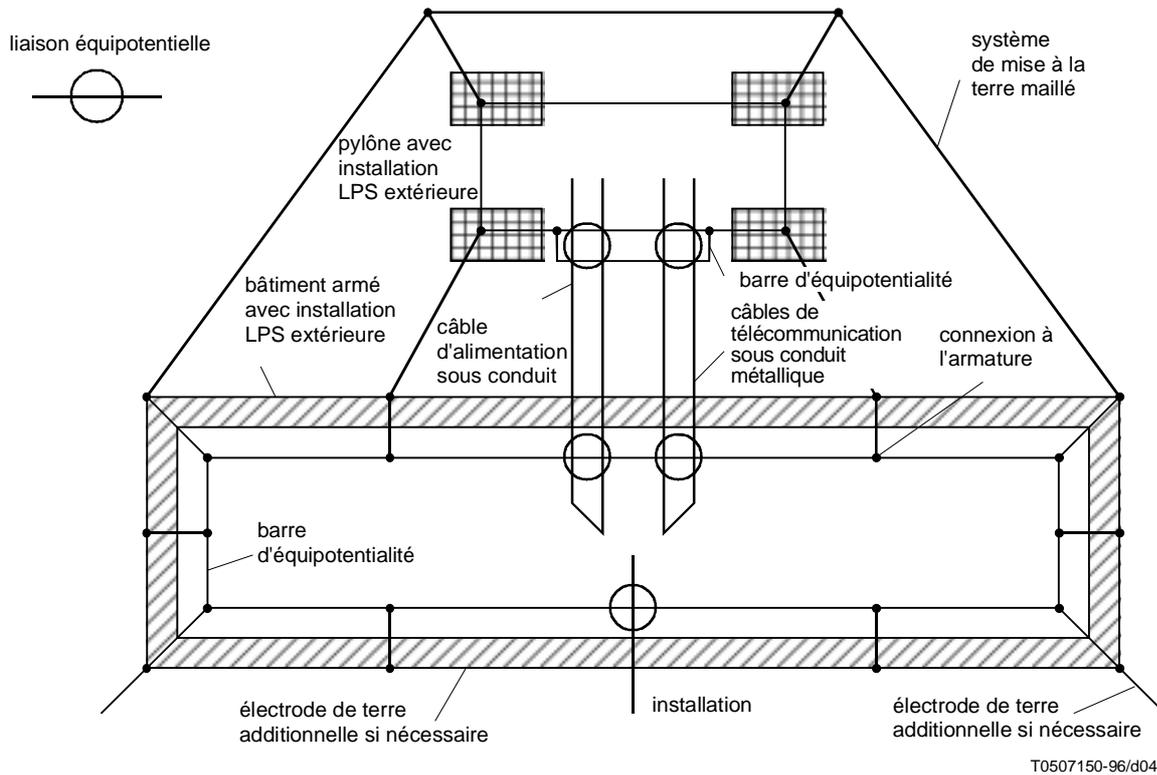


Figure 4/K.40 – Exemple de réseau de terre maillé

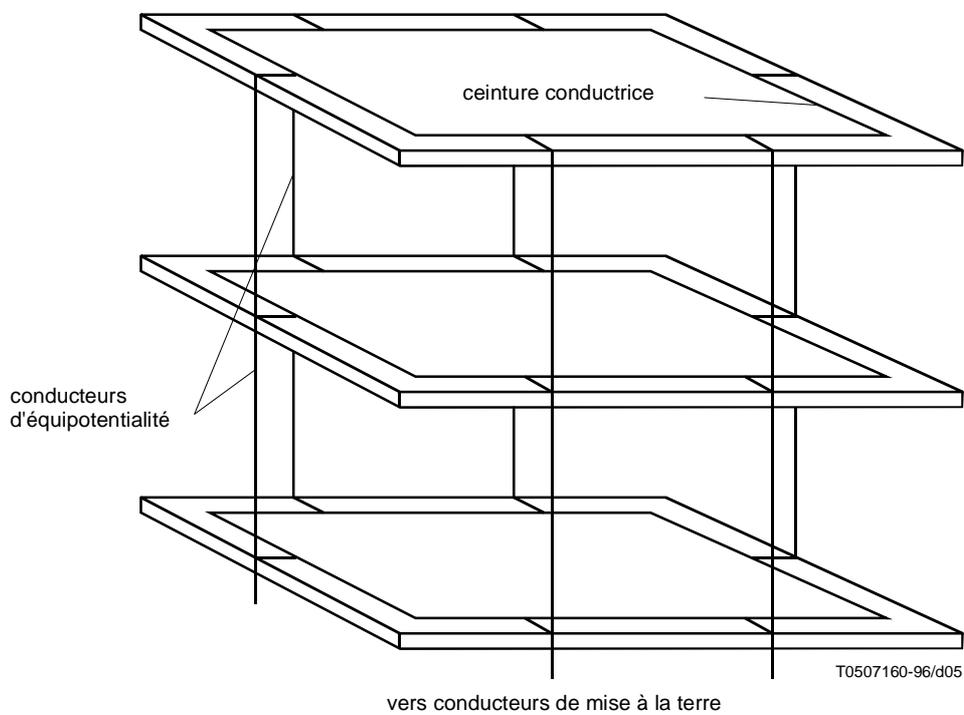


Figure 5/K.40 – Réseau équipotentiel commun minimal (MCBN)

7.4 Cheminement des câbles

Afin de réduire les surtensions et les surintensités induites dans les câbles et dans les conducteurs d'équipotentialité, il est recommandé de diminuer les dimensions de la boucle par un cheminement des câbles de communication et d'alimentation à proximité immédiate des conducteurs d'équipotentialité. On tiendra compte des contraintes dues à la structure et à l'emplacement des équipements.

8 Mesures de protection additionnelles

8.1 Généralités

Les sous-paragraphes qui suivent contiennent des mesures de protection en complément de celles du paragraphe 7, dont l'emploi est recommandé quand le degré d'immunité des interfaces avec les équipements n'est pas connu.

8.2 Blindage

Le blindage est le moyen élémentaire de réduire les perturbations électromagnétiques, y compris les effets des champs magnétiques.

8.2.1 Structure

Pour améliorer l'environnement électromagnétique, toutes les parties métalliques de dimensions significatives associées à la structure doivent être en liaison équipotentielle, entre elles et avec le système LPS; il s'agit des toits et des façades à revêtement métallique, de l'armature du béton et des cadres métalliques des portes et des fenêtres.

En ce qui concerne les bâtiments de télécommunication, on trouve en pratique des structures blindées et des structures non blindées:

- des bâtiments non blindés, par exemple en bois ou en briques, où il y a lieu d'installer un système interne d'équipotentialité afin de répartir les courants de circulation entre un grand nombre d'objets conducteurs, créant ainsi un plan de référence pour l'ensemble de l'installation de télécommunication;
- des bâtiments blindés, en béton armé, dont l'armature est correctement interconnectée, qui présentent d'excellentes qualités d'écran et dans lesquels toutes les pièces métalliques sont utilisées comme référence pour l'installation.

8.2.2 Câblage

A l'intérieur du volume protégé, il est recommandé d'utiliser des câbles blindés qui doivent avoir des connexions d'équipotentialité à leurs deux extrémités au moins et aux frontières des zones LPZ.

Le blindage des câbles faisant appel à des conduits métalliques à faible impédance, connectés en divers points au réseau MCBN, réduit considérablement (de l'ordre d'une centaine de fois) les tensions et les intensités induites pour les ramener aux niveaux que les équipements sont capables de supporter. Le conduit métallique doit être divisé en deux parties par un diaphragme métallique; d'un côté on placera les conducteurs de télécommunication, de l'autre les câbles d'alimentation et les conducteurs d'équipotentialité. Le conduit métallique doit être connecté à chaque ceinture conductrice de plancher afin d'être intégré dans le réseau MCBN.

Appendice I

Simulation des effets des impulsions LEMP – Montage d'essai

Pour les besoins de l'évaluation analytique de la répartition des courants dans le système LPS et dans l'installation d'équipotentialité, la source de courant de décharge peut être considérée comme un générateur de courant constant injectant un courant de foudre sous forme de plusieurs chocs, dans le conducteur du système LPS et son installation d'équipotentialité. Ces courants, ainsi que le courant dans le canal de décharge, produisent des perturbations électromagnétiques.

Pour mesurer les tensions induites consécutives aux chocs de foudre dans un centre de télécommunication, on envoie dans le bâtiment un courant de choc conforme à la définition donnée dans la Publication 1024-2 de la CEI. Le générateur de courant de choc est connecté à un point précis de la structure métallique du bâtiment, à savoir les piliers centraux, de manière à répartir et à diriger le courant vers la terre sur les voies parallèles offertes par la structure métallique du bâtiment. Le courant de foudre retourne au générateur via l'électrode de terre en boucle et les conducteurs de retour connectés à cette boucle.

Les Figures I.1 et I.2 montrent que la tension induite dans une boucle de mesure à l'intérieur du bâtiment dépend de la géométrie du circuit d'injection du courant. La distance du conducteur de retour est l'élément dont dépend la répartition du courant dans les bâtiments et donc aussi la tension induite (position a). Pour simuler approximativement la répartition réelle du courant de foudre, il faut installer le conducteur de retour en un point tellement éloigné que sa position n'a plus d'influence significative sur la tension induite (position b, c ou d). La pratique fait apparaître que des conditions d'essai raisonnables pour les bâtiments plats sont: (dans la Figure I.2): $d: \beta \geq 45^\circ$ et $d \geq 2/3a$. Pour les structures de type pylône, on peut obtenir une répartition de courant raisonnablement homogène en éloignant le conducteur de retour de la structure d'une distance égale ou supérieure à trois fois le diamètre de la structure.

Une configuration à conducteur de retour unique permet de simuler correctement un choc de foudre sur un bord ou dans un coin du bâtiment, ce qui, en conditions réelles, est le cas le plus défavorable. Si l'on utilise plusieurs conducteurs de retour (configuration radiale), ces conducteurs seront installés aussi à une distance du toit au moins 10 fois plus grande que l'espacement entre les fils de capture de la foudre sur le toit (par exemple, 2 m au-dessus d'un dispositif d'étanchéité du béton armé lorsque les barres d'armature sont utilisées pour répartir le courant de foudre). A défaut, la répartition du courant dans la partie horizontale du bâtiment sera assurée par ces conducteurs de retour, ce qui produira des résultats ne correspondant pas à la réalité.

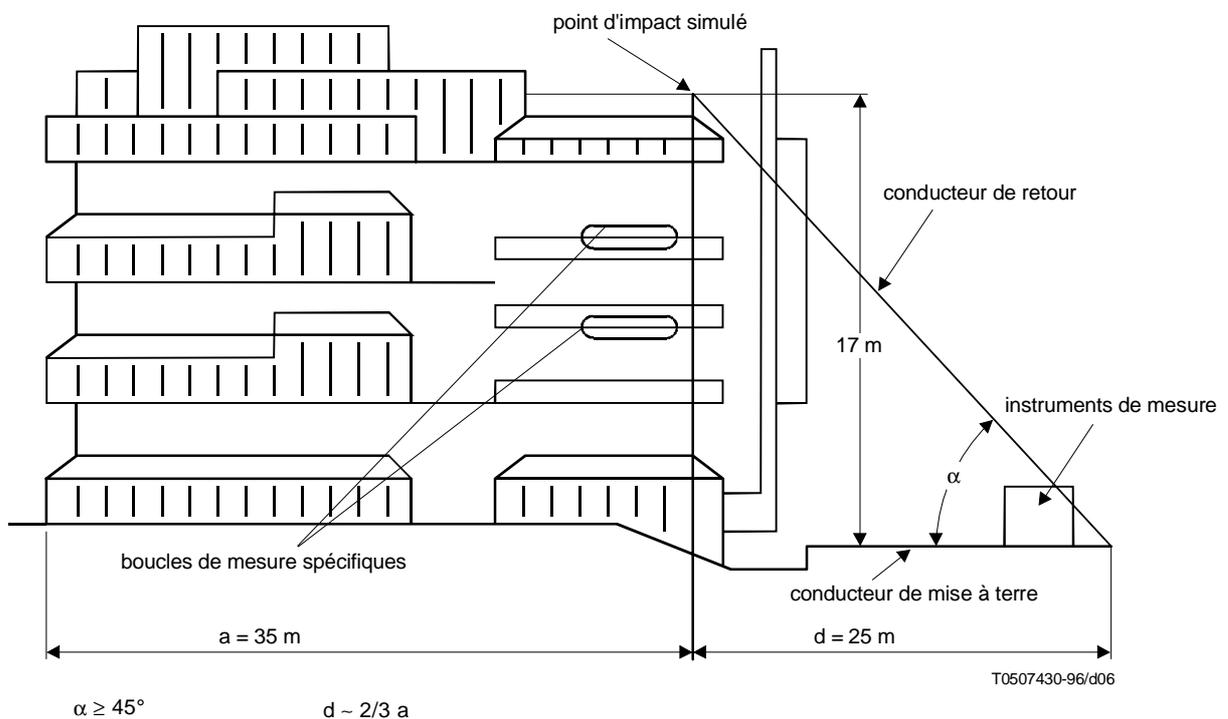


Figure I.1/K.40 – Montage d'essai

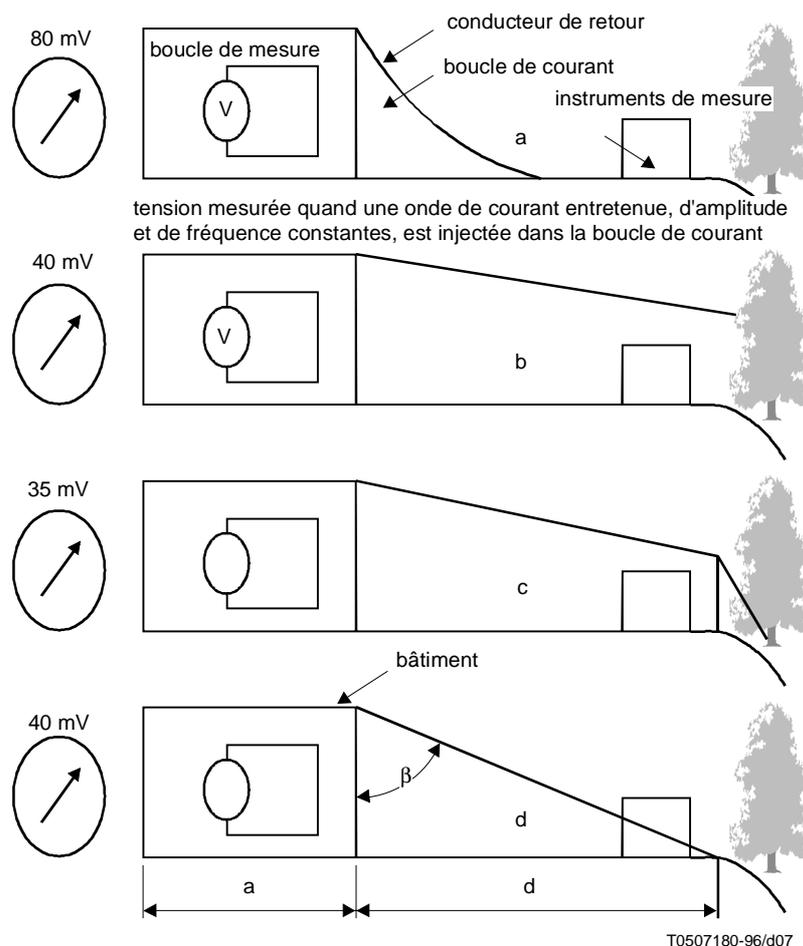


Figure I.2/K.40 – Influence de la position du conducteur de retour sur la tension mesurée

Pour injecter le courant, on peut utiliser des alternateurs fonctionnant dans la gamme qui s'étend de quelques kilohertz à 250 kHz. L'inductance L de la boucle de courant doit en principe être compensée par des condensateurs en série. La tension induite peut ensuite être mesurée au moyen de voltmètres sélectifs très sensibles. On peut aussi mesurer l'impédance en fonction de la fréquence. Dans la plupart des cas, il s'agit d'une droite qui donne une inductance mutuelle constante entre la boucle de mesure et le courant de foudre.

Les générateurs de chocs de foudre nécessitent des tensions très élevées étant donné que la raideur du courant de foudre est:

$\frac{di}{dt} = \frac{U}{L}$, où U est la tension maximale du générateur de chocs et L l'inductance propre du trajet de courant (normalement $100 \mu\text{H}$ environ pour la grande boucle dont il faut disposer).

Par exemple, pour obtenir un rapport di/dt de $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$, la tension maximale du générateur de chocs doit être de:

$$U = L \cdot \frac{di}{dt} = 100 \mu\text{H} \cdot 50 \text{ kA} / \mu\text{s} = 5 \times 10^6 \text{ V}$$

Dans certains cas, en particulier dans les bâtiments nouvellement construits et avant d'installer les équipements de télécommunication, on peut appliquer la loi de réciprocité: la boucle de mesure de la tension devient la boucle d'injection du courant et vice versa. Cela abaisse l'inductance propre de la nouvelle boucle de courant à quelques microhertz, ce qui permet d'utiliser pour le générateur de chocs une tension de charge de quelque 10 kV environ.

Les courants de choc dans les piliers et dans les parois du bâtiment peuvent être mesurés au moyen d'une bobine de Rogowski et d'un émetteur E/O-O/E (photo à coupleur électro-optique) (largeur de bande uniforme 10 MHz). Les données des mesures temporelles sont converties en données du domaine fréquentiel par une transformation de Fourier. Ensuite, les données du domaine fréquentiel sont corrigées au moyen des données d'amplitude et de phase et sont de nouveau converties en données temporelles.

Les tensions induites peuvent être mesurées au moyen d'une sonde à haute impédance et d'un émetteur E/O-O/E. Le champ magnétique horizontal peut être mesuré au moyen d'une sonde inductive fixée à une hauteur d'environ 1 m au-dessus du sol.

Pour les simulations par ordinateur des effets des chocs de foudre, on peut utiliser la méthode des moments (MOM, *method of moments*). Il s'agit essentiellement d'une procédure générale pour résoudre des problèmes de champ linéaire, également appelée «méthode matricielle» parce qu'elle réduit l'équation fonctionnelle originale à une équation matricielle. On utilise cette méthode pour déterminer les tensions et les distributions de courant dans le système LPS d'un centre de télécommunication, de même que le champ rayonné à l'intérieur du bâtiment consécutivement au choc. L'approximation au moyen d'un fil fin est également très répandue pour analyser le comportement électromagnétique de structures filaires. Moyennant certaines hypothèses, le système LPS peut être considéré comme une structure en fil mince. Le problème dont il faut tenir compte consiste à résoudre l'équation intégrale des champs électriques par fils minces pour le système LPS; une méthode pour résoudre ces équations est la méthode des moments. Le but de l'analyse susmentionnée est d'évaluer l'efficacité du système de protection installé dans le centre de télécommunication.

Des simulations numériques et des essais ont été entrepris pour étudier le comportement de centres de télécommunication atteints par des impulsions LEMP; aux fins d'analyse, on peut définir le courant de la manière suivante (CEI 1024-2):

$$i = \frac{I}{\eta} \cdot \frac{(t / \tau_1)^{10}}{1 + (t / \tau_1)^{10}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

où

I est le courant de crête

η est le facteur de correction du courant de crête

t est le temps

τ_1 est la constante de temps en montée d'impulsion

τ_2 est la constante de temps en descente d'impulsion

Appendice II

Gestion de la protection

II.1 Nouveaux centres de télécommunication

L'établissement et la maintenance d'une installation de protection contre les impulsions LEMP, destinées à un centre de télécommunication, nécessitent que l'on suive les étapes du Tableau II.1.

II.2 Centres de télécommunication existants

Pour les installations existantes, une liste de pointage (voir le Tableau II.2) sera utile lors de l'examen des points spécifiques et lors du choix des mesures les plus économiques pour renforcer les équipements de protection contre les impulsions LEMP. Il conviendra d'utiliser cette liste de pointage en combinaison avec les indications de la Recommandation K.39, Evaluation des risques d'endommagement des installations de télécommunication par la foudre.

Tableau II.1/K.40

| Etape | But | Exécution |
|---|---|--|
| planification du système | élaboration d'un concept de protection intégrale avec définition: <ul style="list-style-type: none"> - des niveaux de protection - des zones LPZ et de leurs frontières - des mesures de blindage spatial - des réseaux d'équipotentialité - des mesures d'équipotentialité pour les services et les lignes aux frontières des zones LPZ - le cheminement et le blindage des câbles | le spécialiste de la protection contre la foudre sera en contact: <ul style="list-style-type: none"> - avec le propriétaire - avec l'architecte - avec les planificateurs des installations en question - avec les sous-traitants - avec le fabricant du matériel |
| conception du système | <ul style="list-style-type: none"> - plans généraux et descriptions - établissement de la liste des appels d'offres - plans détaillés et calendriers de réalisation | c'est-à-dire bureau d'étude en contact: <ul style="list-style-type: none"> - avec le fabricant des équipements |
| construction du système et surveillance | <ul style="list-style-type: none"> - qualité de l'installation - documentation - éventuellement révision des plans détaillés | installateur du système et spécialiste de la protection contre la foudre, bureau d'étude ou agence de surveillance |
| recette | vérification et documentation relatives à l'état du système | spécialiste de la protection contre la foudre ou agence de surveillance |
| inspection finale | vérification de l'adéquation du système | spécialiste de la protection contre la foudre ou agence de surveillance |

Tableau II.2/K.40

| Caractéristiques des structures et de leur environnement | Caractéristiques d'installation | Caractéristiques des équipements |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - maçonnerie, briques, bois, béton armé, structure en acier? - une seule structure intégrée ou blocs interconnectés avec joints d'expansion? - structure basse et plate ou en hauteur? - éléments d'armature interconnectés électriquement dans l'ensemble de la structure? - façades métalliques électriquement interconnectées? - taille des fenêtres? - cadres des fenêtres mis à la masse? - toit métallique? - structure équipée d'un système LPS extérieur? - type et qualité de ce système LPS? - nature du sol (roche, terre)? - prise de terre des structures proches (hauteur, distance)? | <ul style="list-style-type: none"> - services entrants (souterrains ou aériens)? - antennes (ou autres appareils extérieurs)? - type d'alimentation électrique (HT, BT, câbles aériens ou souterrains)? - configuration (TN, TT ou IT)? - emplacement des installations électroniques? - cheminement des câbles (nombre et emplacement des colonnes montantes et des conduits)? - utilisation de chemins de câbles métalliques? - l'électronique forme-t-elle un ensemble autonome à l'intérieur de la structure? - conducteurs métalliques vers d'autres structures? | <ul style="list-style-type: none"> - connexions multiples entre terre de protection et masse fonctionnelle des installations électroniques? - types de liaisons entre équipements informatiques (câbles multiconducteurs blindés ou non, câbles coaxiaux, lignes de données à fibres optiques analogiques et/ou numériques, symétriques et/ou asymétriques)? - les niveaux d'immunité des équipements sont-ils spécifiés? |

Bibliographie

- [1] Document temporaire TD 5 de la CE 5 du CCITT: Report on IEC TC 81 activity on protection against LEMP, (Rapport sur les activités du CE 81 de la CEI sur la protection contre l'impulsion LEMP), mai 1989.
- [2] Document temporaire TD 25 de la CE 5 du CCITT: Report on IEC TC 81 activity on protection against LEMP, (Rapport sur les activités du CE 81 de la CEI sur la protection contre l'impulsion LEMP), mars 1992.
- [3] SÖDERLUND: Earthing of telecommunications lines and installations in subscriber's networks as a protective measure against lightning damages (Mise à la terre des lignes et des installations de télécommunication dans les réseaux d'abonné à titre de mesure de protection contre les dégradations dues à la foudre), *CENELEC BTTF 69-4*.
- [4] Contribution COM V-26 du CCITT: Simulation of overvoltages in telecommunication building caused by lightning, (Simulation des surtensions causées par la foudre dans les bâtiments de télécommunication), janvier 1986.
- [5] MONTANDON: Lightning simulation technique on a building, *réunion du Groupe du Rapporteur du GT 3/5*, (Technique de simulation de la foudre frappant un bâtiment), septembre 1995.
- [6] MONTANDON, BEYELER: Lightning induced voltages on electrical installations on a Swiss PTT instrumented tower in St. Chrischona, Switzerland, (Tensions induites par la foudre dans les installations électriques d'un pylône à St. Chrischona (Suisse) comportant des instruments des PTT suisses), *Actes de la 22^e ICLP, Rapport R 4-11*, Budapest 1994.
- [7] KURAMOTO, SATO, OHTA: Surge current and voltage distribution in a reinforced concrete building caused by direct lightning stroke, *Colloque de l'IEEE sur la compatibilité électromagnétique*, (Répartition des courants et des tensions de choc dans un bâtiment en béton armé touché directement par la foudre), pages 84-89, 1991.
- [8] BATTINI, BESSI, CHITI, POMPONI: LEMP effects on equipment in telecommunication centers (Effets de l'impulsion LEMP sur les équipements des centres de télécommunication).
- [9] ARZUR, BLECH, ZEDDAM, GABILLET: Protection for switching systems: lightning, power grid, EMC, NEMP and related phenomena, (Protection des systèmes de commutation: foudre, secteur, compatibilité électromagnétique, impulsion NEMP et phénomènes connexes), *Intelec 93*, pages 193-199.
- [10] Computational Electromagnetics; Frequency-domain method of moments (Electromagnétisme informatisé: méthode des moments dans le domaine fréquentiel), *IEEE Press*, 1992.
- [11] Motorola: Grounding guideline for cellular Radio Installations (Directives pour la mise à la terre des installations radioélectriques cellulaires).
- [12] COM 5-3: Protection against LEMP for equipment within existing structures, Source: *Suisse* (Protection contre l'impulsion LEMP des équipements situés dans des structures existantes), décembre 1993.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

- Série A Organisation du travail de l'UIT-T
- Série B Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
- Série C Statistiques générales des télécommunications
- Série D Principes généraux de tarification
- Série E Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
- Série F Services de télécommunication non téléphoniques
- Série G Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
- Série H Systèmes audiovisuels et multimédias
- Série I Réseau numérique à intégration de services
- Série J Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
- Série K Protection contre les perturbations**
- Série L Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
- Série M Maintenance: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
- Série N Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
- Série O Spécifications des appareils de mesure
- Série P Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
- Série Q Commutation et signalisation
- Série R Transmission télégraphique
- Série S Equipements terminaux de télégraphie
- Série T Terminaux des services télématiques
- Série U Commutation télégraphique
- Série V Communications de données sur le réseau téléphonique
- Série X Réseaux pour données et communication entre systèmes ouverts
- Série Z Langages de programmation