



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**K.56**

(07/2003)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES  
PERTURBATIONS

---

**Protection des stations de base radioélectriques  
contre la foudre**

Recommandation UIT-T K.56

---



## **Recommandation UIT-T K.56**

### **Protection des stations de base radioélectriques contre la foudre**

#### **Résumé**

La présente Recommandation définit une procédure quantitative permettant de protéger les stations de base radioélectriques (RBS, *radio base station*) du réseau d'accès hertzien contre les décharges de foudre. Le niveau de protection est fonction de la fréquence tolérable des dommages attribuée à la station RBS par l'opérateur, compte tenu des conséquences d'une interruption de service ou de la destruction de l'équipement. Les stations RBS visées dans la présente Recommandation sont constituées d'un abri ou petit bâtiment contenant les équipements, ainsi que d'un pylône situé à proximité et destiné à supporter les antennes. Les procédures de protection comprennent notamment la mise à la terre, la mise à l'équipotentiel, le blindage et l'installation de parafoudres (SPD, *surge protective device*).

#### **Source**

La Recommandation K.56 de l'UIT-T a été approuvée le 29 juillet 2003 par la Commission d'études 5 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

## AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'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.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude 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 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

## NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

## DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2004

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## TABLE DES MATIÈRES

		<b>Page</b>
1	Domaine d'application et objet .....	1
2	Références normatives.....	1
3	Définitions .....	2
4	Abréviations.....	2
5	Configuration de référence .....	2
6	Besoins de protection.....	3
7	Analyse de probabilités.....	4
	7.1 Fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ ).....	4
	7.2 Fréquence des décharges de foudre touchant le pylône ( $F_d$ ).....	5
	7.3 Fréquences des décharges de foudre touchant le bâtiment abritant la station RBS ( $F_d$ ) .....	5
	7.4 Analyse de la fréquence des décharges de foudre.....	6
8	Détermination des paramètres des courants de foudre .....	6
9	Procédures de protection dans la zone LPZ0.....	7
	9.1 Procédures appliquées au pylône.....	7
	9.2 Système de mise à la terre .....	7
10	Procédures de protection des câbles provenant du pylône .....	8
11	Protection contre les effets de la foudre à l'intérieur du bâtiment .....	9
	11.1 Facteur d'écran ( $\eta$ ).....	9
	11.2 Configuration de réseau équipotentiel maillé.....	9
	11.3 Configuration de type IBN maillé .....	11
	11.4 Procédures de protection à la frontière entre les zones LPZ1 et LPZ2 .....	12
12	Protection contre les effets de la foudre aux points d'entrée des services .....	12
	12.1 Service d'alimentation .....	12
	12.2 Service de télécommunication.....	14
	Annexe A – Facteur de distribution du courant de foudre le long d'un pylône ( $\alpha$ ).....	14
	A.1 Pylône tubulaire.....	14
	A.2 Pylône à trois pieds.....	15
	A.3 Pylône à quatre pieds.....	16
	Annexe B – Facteur d'écran ( $\eta$ ) des circuits d'un réseau équipotentiel commun .....	16
	Annexe C – Facteur de transfert ( $\beta$ ) pour chemins de câbles et conducteurs de terre.....	17
	C.1 Conducteur de terre unique .....	17
	C.2 Deux conducteurs de terre .....	18
	C.3 Chemin de câbles de terre.....	19
	Annexe D – Rayon géométrique moyen.....	20
	Appendice I – Principes de base du temps en montée d'impulsion équivalent.....	21
	Appendice II – Exemple d'application.....	21

## **Introduction**

L'utilisation généralisée de stations de base radioélectriques (RBS, *radio base station*) en téléphonie mobile et sur la boucle locale hertzienne a sensibilisé les esprits aux risques d'exposition de ces stations à des décharges de foudre, et aux dégâts que celles-ci peuvent occasionner à l'équipement et au câblage de ces stations. La présente Recommandation définit les procédures permettant de protéger l'équipement et le câblage des stations RBS contre la foudre, d'après une analyse de la fréquence tolérable d'endommagement des installations.

## Recommandation UIT-T K.56

### Protection des stations de base radioélectriques contre la foudre

#### 1 Domaine d'application et objet

La présente Recommandation porte sur les stations RBS constituées d'un abri ou petit bâtiment contenant les équipements, ainsi que d'un pylône destiné à supporter les antennes et placé de telle sorte que la foudre ne puisse tomber sur l'abri ou le petit bâtiment. La présente Recommandation a pour objet d'indiquer les critères à retenir pour définir des procédures de protection des stations RBS contre la foudre.

#### 2 Références normatives

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 tout 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. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- [1] Recommandation UIT-T K.39 (1996), *Evaluation des risques d'endommagement des installations de télécommunication par la foudre.*
- [2] Recommandation UIT-T K.40 (1996), *Protection des centres de télécommunication contre les impulsions électromagnétiques dues à la foudre.*
- [3] Recommandation UIT-T K.27 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les bâtiments de télécommunication.*
- [4] Recommandation UIT-T K.35 (1996), *Configurations équipotentielles et mise à la terre dans les installations électroniques distantes.*
- [5] CEI 61024-1-1:1993, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1: Principes généraux – Section 1: Guide A: Choix des niveaux de protection pour les installations de protection contre la foudre.*
- [6] CEI 61024-1-2:1998, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1-2: Principes généraux – Guide B – Conception, installation, maintenance et inspection des installations de protection contre la foudre.*
- [7] CEI 61643-1:2002, *Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 1: Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essai.*
- [8] CEI 61643-12:2002, *Parafoudres basses tensions – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application.*
- [9] CEI 61662:1995, *Evaluation des risques de dommages liés à la foudre.*
- [10] ETSI EG 200 053 (2002), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radio site engineering for radio equipment and systems.*

### 3 Définitions

Les définitions figurant dans les documents mentionnés dans les références normatives s'appliquent à la présente Recommandation. Les autres définitions nécessaires à la protection des stations de base radioélectriques (RBS) sont indiquées ci-dessous.

**3.1 station de base radioélectrique (RBS, *radio base station*) ou station RBS:** installation destinée à donner accès au système de télécommunication au moyen d'ondes radioélectriques.

**3.2 fréquence des décharges ( $F$ ):** nombre de fois par année que des décharges de foudre touchent une station RBS.

**3.3 fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ ):** nombre maximal admissible de fois par année que des décharges de foudre peuvent endommager une station RBS.

**3.4 nombre kéraunique; densité d'impacts de foudre au sol ( $N_g$ ):** nombre annuel probable d'impacts de foudre par kilomètre carré.

**3.5 intensité critique du courant de foudre ( $I_c$ ):** valeur de crête minimale du courant de foudre à laquelle la station RBS doit résister afin de ne pas dépasser sa fréquence tolérable de dommages ( $F_t$ ). Ce paramètre est associé à la décharge réfléchie d'un éclair.

**3.6 vitesse de montée de l'intensité critique du courant de foudre ( $di_c/dt$ ):** valeur minimale de la vitesse de montée du courant de foudre à laquelle la station RBS doit résister afin de ne pas dépasser sa fréquence tolérable de dommages ( $F_t$ ). Ce paramètre est associé à une décharge ultérieure d'un éclair.

**3.7 facteur de pylône ( $\alpha$ ):** fraction du courant de foudre qui passe à travers le faisceau formé par les conducteurs de télécommunication fixés le long du pylône de la station RBS.

**3.8 facteur d'écran ( $\eta$ ):** affaiblissement de la tension induite dans les circuits de télécommunication à l'intérieur de la station RBS dû à l'effet d'écran des conducteurs du réseau equipotentiel commun (CBN).

**3.9 tension induite ( $V_i$ ):** valeur de crête de la tension induite dans les circuits de télécommunication à l'intérieur de la station RBS due au passage du courant de foudre à son niveau d'intensité critique à travers le pylône.

**3.10 facteur de transfert ( $\beta$ ):** fraction de la tension induite dans les circuits de télécommunication à l'intérieur de la station RBS qui est transférée aux câbles internes non blindés.

**3.11 rayon géométrique moyen ( $r'$ ):** rayon d'un conducteur tubulaire imaginaire avec enveloppe d'une épaisseur infinitésimale, dépourvu de flux magnétique interne et dont le couplage de flux externe est égal au couplage de flux total (interne + externe) du conducteur considéré.

### 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

LPZ zone de protection contre la foudre (*lightning protective zone*)

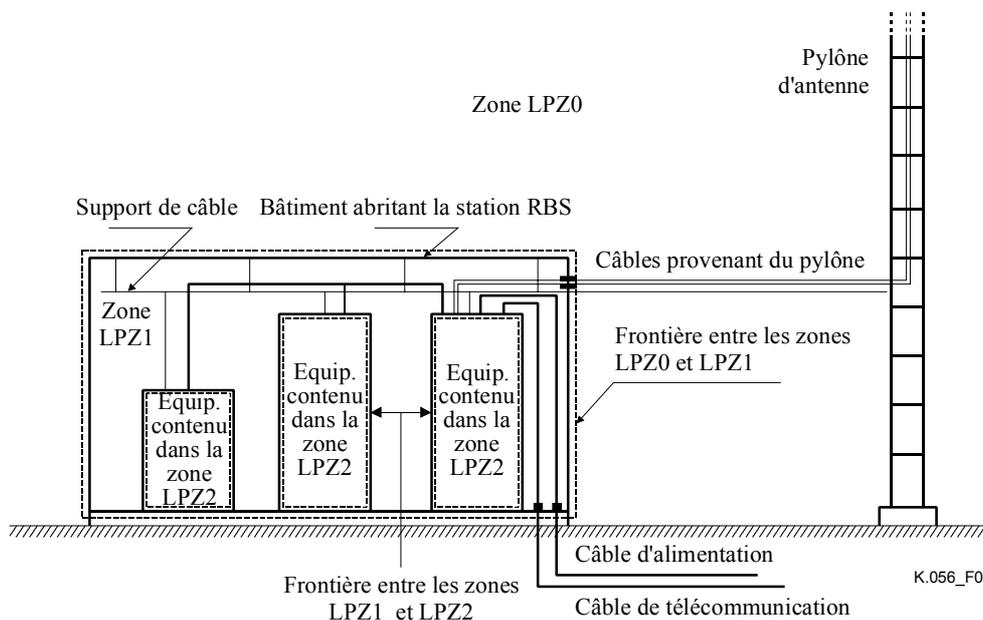
RBS station de base radioélectrique (*radio base station*)

### 5 Configuration de référence

La Figure 1 représente la configuration de référence considérée dans la présente Recommandation. On y distingue les trois zones de protection contre la foudre (LPZ, *lightning protective zone*) définies dans la Rec. UIT-T K.40:

- LPZ0: cette zone comprend le pylône, les antennes, les câbles externes et le réseau de mise à la terre;

- LPZ1: cette zone comprend le bâtiment abritant la station RBS, les câbles internes, les chemins de câbles, les batteries, etc.;
- LPZ2: cette zone comprend l'armoire de matériel et son contenu.



**Figure 1/K.56 – Configuration de référence d'une station RBS**

## 6 Besoins de protection

Pour évaluer les besoins de protection d'une station RBS contre la foudre, l'utilisateur est tenu de déterminer la fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ ) et de calculer la fréquence des décharges de foudre touchant le pylône d'antenne de la station RBS ( $F_a$ ) ainsi que le bâtiment abritant cette station ( $F_d$ ). Si la somme des fréquences  $F_a + F_d$  est inférieure à la fréquence  $F_t$ , les décharges de foudre directes ne sont pas un phénomène d'importance majeure pour la station RBS et celle-ci peut être assimilée à une installation électronique distante ordinaire relevant du domaine d'application de la Rec. UIT-T K.35. Toutefois, si la somme des fréquences  $F_a + F_d$  est supérieure à la fréquence  $F_t$ , une protection de la station RBS contre les décharges directes de foudre s'imposera. L'implémentation d'une telle protection, selon les dispositions de la présente Recommandation, assurera également une protection contre les décharges de foudre se produisant dans le voisinage de la station RBS, que celles-ci touchent la terre ou les services entrants.

Dans un deuxième temps, l'utilisateur comparera les fréquences  $F_a$  et  $F_d$ . Si  $F_d$  n'est pas négligeable par rapport à  $F_a$ , c'est le signe que l'installation relève du domaine d'application de la présente Recommandation. Dans ce cas, l'utilisateur devra se reporter à la publication CEI 61662 afin de protéger les systèmes électriques et électroniques à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS.

Si  $F_d$  est négligeable par rapport à  $F_a$ , l'utilisateur devra alors appliquer les différentes opérations décrites dans la présente Recommandation pour identifier les paramètres des courants de foudre contre lesquels la station RBS doit être protégée. Les procédures de protection comportent quatre opérations:

- protection contre les tensions engendrées à l'intérieur des câbles coaxiaux provenant du pylône;
- protection contre les tensions et courants induits à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS dus au passage des courants de foudre à travers le pylône et les conducteurs associés (câble coaxial, supports métalliques, etc.);

- protection contre les tensions et courants induits dans les conducteurs d'alimentation entrants en raison de l'élévation du potentiel de terre de la station RBS;
- protection contre les tensions et courants induits dans les conducteurs de télécommunication entrants (s'il en existe) en raison de l'élévation du potentiel de terre de la station RBS.

L'organigramme représenté sur la Figure 2 récapitule les opérations décrites dans la présente Recommandation. Pour chacune d'entre elles, il indique le numéro de paragraphe de la présente Recommandation traitant de cette opération. Les flèches en trait gras indiquent l'ordre des opérations à accomplir, l'indication des numéros de paragraphe figurant en caractères normaux.

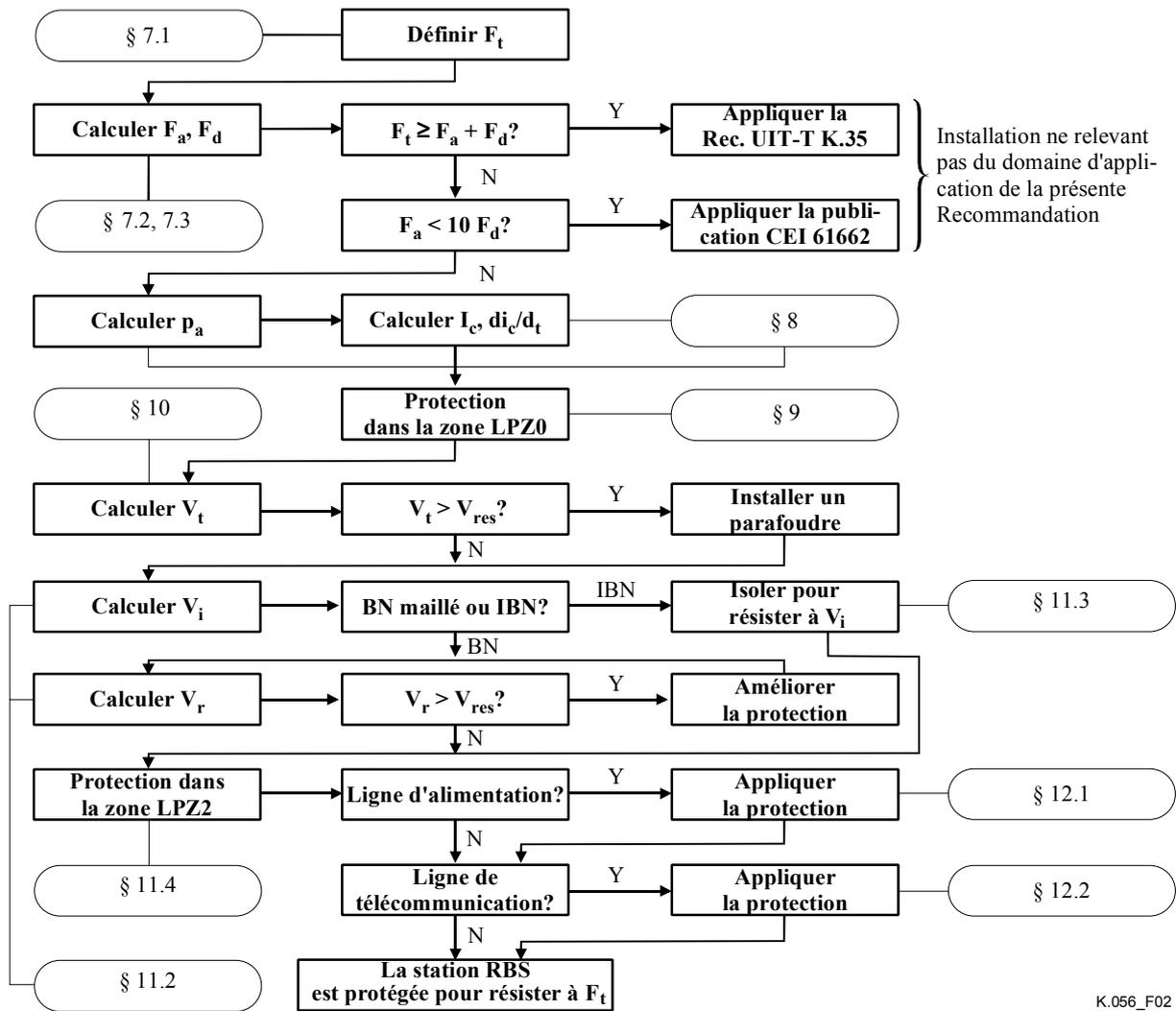


Figure 2/K.56 – Organigramme des opérations à accomplir pour assurer la protection d'une station RBS contre la foudre

## 7 Analyse de probabilités

### 7.1 Fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ )

Les mesures de protection décrites dans la présente Recommandation visent à ramener les pertes économiques liées aux dommages à un niveau tolérable pour l'opérateur de télécommunication. Les procédures de protection relatives à la sécurité des personnes, qui sont déterminées par l'organisme compétent chargé des questions de sécurité, ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

Compte tenu du caractère probabiliste de la foudre, l'opérateur doit tolérer un niveau de pertes économiques dues à la foudre pour arriver à mettre au point un modèle de protection fondé sur un compromis technique et économique.

La fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ ) est donnée par l'équation suivante:

$$F_t = L_t / L_d$$

où:

$L_t$ : est la perte économique tolérable par année due aux décharges de foudre dans une station RBS donnée;

$L_d$ : est la perte économique probable due à un dommage causé par la foudre dans une station RBS donnée.

La valeur de  $L_d$  peut être calculée par l'opérateur compte tenu des pertes économiques engendrées par les éléments suivants, entre autres:

- le manque à gagner (en termes de recettes non perçues) dû à l'interruption du service;
- les amendes que le prestataire du service interrompu pourra se voir infliger par une entreprise qui avait passé un contrat avec lui ou par l'Autorité de régulation des télécommunications;
- la dégradation de l'image de l'entreprise auprès du public;
- le coût de remplacement de l'équipement endommagé.

Par conséquent, les pertes économiques entraînées par des dommages dépendent des caractéristiques de la station RBS, telles que le trafic, les amendes contractuelles, le type d'équipement, la facilité d'accès au personnel de maintenance, etc.

La valeur de  $L_t$  est définie par l'opérateur d'après son plan d'exploitation et devrait tenir compte du coût d'implémentation des procédures de connexion. Les valeurs de  $F_t$  pour une station RBS seront généralement comprises entre 0,10 et 0,01.

## 7.2 Fréquence des décharges de foudre touchant le pylône ( $F_a$ )

La fréquence des décharges de foudre touchant le pylône est donnée par l'équation suivante:

$$F_a = 9 c \pi H_t^2 N_g \quad (\text{dommages} \times \text{année}^{-1}) \quad (1)$$

où:

$N_g$ : est la densité d'impacts de foudre au sol (impacts de foudre  $\times$  km<sup>-2</sup>  $\times$  année<sup>-1</sup>)

$H_t$ : est la hauteur du pylône (km)

$c$ : est le facteur d'exposition ( $c = 1$  sur terrain plat et  $c = 2$  au sommet d'une montagne)

## 7.3 Fréquences des décharges de foudre touchant le bâtiment abritant la station RBS ( $F_d$ )

Si le bâtiment abritant la station RBS se situe à l'intérieur d'une zone décrivant autour du pylône un cercle de rayon 3 ( $H_t - H_h$ ), où  $H_h$  est la hauteur du bâtiment, dans ce cas:

$$F_d = 0$$

Dans les autres cas, la fréquence des décharges de foudre est donnée par l'équation suivante:

$$F_d = (a b + 6 H_h a + 6 H_h b + 9 \pi H_h^2) N_g [ \text{décharges de foudre} \times \text{année}^{-1} ] \quad (2)$$

où:

$a$ : est la longueur de bâtiment (km)

$b$ : est la largeur du bâtiment (km)

$H_h$ : est la hauteur du bâtiment (km)

#### 7.4 Analyse de la fréquence des décharges de foudre

Compte tenu des valeurs de  $F_t$ ,  $F_a$  et  $F_d$  obtenues précédemment, il y a lieu de procéder à l'analyse suivante:

– Si  $F_t \geq F_a + F_d$

Dans ce cas, les décharges de foudre directes ne sont pas un phénomène d'importance majeure pour la station RBS et celle-ci peut être assimilée à une installation électronique distante ordinaire relevant du domaine d'application de la Rec. UIT-T K.35.

– Si  $F_t < F_a + F_d$  et  $F_a < 10 F_d$

Dans ce cas, l'installation ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation. L'utilisateur se reportera à la publication CEI 62305-4 afin d'assurer la protection des systèmes électriques et électroniques se trouvant dans le bâtiment abritant la station RBS.

– Si  $F_t < F_a + F_d$  et  $F_a \geq 10 F_d$

Dans ce cas, l'utilisateur exécutera les opérations indiquées dans la présente Recommandation pour identifier les paramètres des courants de foudre contre lesquels la station RBS doit être protégée.

### 8 Détermination des paramètres des courants de foudre

Le nombre de décharges directes touchant le pylône est déterminé par la densité d'impacts de foudre au sol dans la région et par la hauteur du pylône. Etant donné l'impossibilité de réduire la hauteur du pylône en raison de contraintes de transmission, on obtiendra la fréquence tolérable des dommages en relevant le seuil d'immunité de la station RBS au courant de foudre jusqu'à un niveau d'intensité donné. Par conséquent, les décharges directes d'un niveau d'intensité inférieur à ce seuil critique n'endommageront pas la station RBS. Ce seuil d'intensité critique de courant de foudre crête, désigné par  $I_c$  est donné par l'équation suivante:

$$I_c = (a - \ln(100 p_a)) / b \quad [\text{kA}] \quad (3)$$

où:

$$p_a = F_t / F_a$$

$$a = 4,605 \quad \text{et} \quad b = 0,0117 \quad \text{pour} \quad p_a > 0,79$$

$$a = 5,063 \quad \text{et} \quad b = 0,0346 \quad \text{pour} \quad p_a \leq 0,79$$

La vitesse de montée de l'intensité critique du courant de foudre ( $di_c/dt$ ) est donnée par l'équation suivante:

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{I_c}{t_{eff}} [\text{kA} / \mu\text{s}]$$

où:

$t_{eff} = 1 \mu\text{s}$  est le temps en montée d'impulsion équivalent décrit dans l'Appendice I.

Les paragraphes qui suivent décrivent les procédures de protection destinées à protéger la station RBS jusqu'au seuil d'intensité critique du courant de foudre considéré.

NOTE – La valeur d'intensité du courant de foudre crête correspond à la première décharge, la vitesse de montée  $di/dt$  correspondant à une décharge ultérieure. La relation entre ces deux paramètres est conforme à

la publication CEI 61662. Par exemple, une décharge d'un courant de foudre crête de 100 kA correspond à une vitesse de montée  $di/dt$  égale à  $100\text{kA}/\mu\text{s}$ . Dans la présente Recommandation, certaines procédures de protection sont déterminées par le courant, tandis que d'autres sont déterminées par la vitesse de montée du courant ( $di/dt$ ).

## 9 Procédures de protection dans la zone LPZ0

### 9.1 Procédures appliquées au pylône

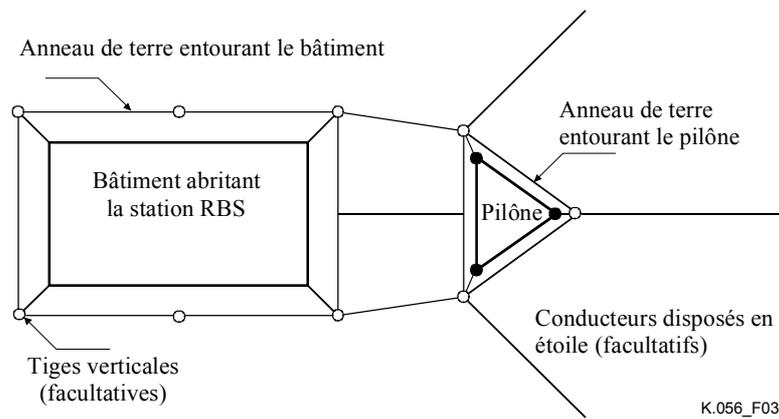
La nécessité de recourir à des tiges de paratonnerre pour protéger les antennes contre une décharge directe de foudre doit être évaluée selon les méthodes décrites dans la publication CEI 61024-1-1 [5]. Dans le cas d'un pylône métallique, il n'y a pas lieu d'installer des conducteurs de descente pour conduire le courant de foudre jusqu'à la terre, du fait que la structure du pylône remplira cette fonction. Dans le cas d'un pylône non métallique, il sera nécessaire d'installer des conducteurs de descente. La spécification et l'installation de ces conducteurs doivent être conformes à la publication CEI 61024-1-2 [6].

Le guide d'ondes et le conducteur externe de câbles coaxiaux doivent être reliés à la masse du pylône métallique via l'équipement d'antenne. Dans le cas de pylônes non métalliques, la mise à la masse se fera via le ou les conducteurs de descente des courants de foudre.

### 9.2 Système de mise à la terre

Le système de mise à la terre de la station RBS doit être conforme, en autres, aux spécifications de la Rec. UIT-T K.35 [4]. Ce système de mise à la terre est décrit dans le présent paragraphe et est représenté sur le schéma de la Figure 3.

- La station RBS doit comporter un conducteur nu extérieur et enterré formant un anneau autour du bâtiment et du pylône. Une électrode en anneau doit ceinturer le bâtiment et un autre anneau doit entourer le pylône.
- La distance entre le conducteur enterré et la structure associée doit être d'environ 0,65 m, lorsque cela est possible. Le conducteur doit être enterré à environ 0,75 m de profondeur.
- Les deux anneaux doivent être interconnectés par au moins 3 conducteurs espacés (voir la Figure 3).
- Les pieds d'un pylône métallique ou les conducteurs de descente d'un pylône non métallique doivent être raccordés par de courtes connexions à l'anneau de terre du pylône considéré et à la structure métallique de ses fondations.
- Si le bâtiment a des fondations en acier et/ou comporte des renforts en acier au niveau de la dalle, il sera relié à l'anneau de terre au moins aux quatre angles. S'il s'agit d'un bâtiment à structure métallique, les pieds de la structure doivent être reliés à l'anneau de terre (voir la Figure 3).
- Un seul conducteur de terre doit relier l'anneau de terre du bâtiment à la borne de terre principale (MET, *main earthing terminal*) située à l'intérieur de bâtiment, au pied de la paroi derrière laquelle se trouve le pylône. Ce conducteur doit être aussi court que possible et avoir au minimum  $50\text{ mm}^2$  de section.
- Tous les conducteurs reliés à la terre doivent de préférence être en cuivre et avoir au moins  $50\text{ mm}^2$  de section.
- La réglementation nationale en matière de sécurité ou la nécessité de réguler le gradient de tension de terre ou de limiter le courant injecté, pour les besoins des services à assurer, dans les conducteurs métalliques reliés à la station RBS peut rendre nécessaire la mise en place d'électrodes de terre supplémentaires. Celles-ci se présenteront de préférence sous la forme de tiges verticales disposées le long des anneaux ou de conducteurs horizontaux disposés en étoile autour du pylône.



**Figure 3/K.56 – Configuration de terre de la station RBS**

## 10 Procédures de protection des câbles provenant du pylône

Tous les câbles provenant du pylône et entrant dans la station RBS doivent passer par la même ouverture (fenêtre) et doivent être reliés à une barre d'équipotentialité installée en ce point. Les guides d'ondes et le conducteur extérieur des câbles coaxiaux doivent être reliés directement à la barre d'équipotentialité à l'aide de courtes connexions. Les câbles non blindés (les câbles alimentant le système d'éclairage du pylône, par exemple) doivent être reliés au parafoudre (SPD, *surge protective device*). La barre d'équipotentialité doit être reliée au réseau de terre au moyen de conducteurs verticaux (un minimum de trois conducteurs espacés est recommandé). Si le bâtiment abritant la station RBS est en métal, il faudra également relier la barre d'équipotentialité aux murs du bâtiment. Les conducteurs de terre et les supports de câbles métalliques à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS devront être reliés à la barre d'équipotentialité.

La nécessité d'installer un parafoudre (SPD) entre les conducteurs intérieur et extérieur des câbles coaxiaux provenant du pylône peut être déterminée en procédant comme suit:

- déterminer la fraction du courant de foudre qui passe par le faisceau de câbles le long du pylône. Ce paramètre est représenté par le facteur de distribution du courant de foudre le long du pylône " $\alpha$ " qui est déterminé par les procédures décrites dans l'Annexe A;
- répartir le courant résultant entre les " $n$ " conducteurs que comporte le faisceau. Pour ce calcul, on considère que la fraction du courant de foudre qui passe par un câble coaxial donné est proportionnelle à son rayon géométrique moyen (GMR, *geometric mean radius*). Il convient de prendre en considération tous les conducteurs du faisceau, tels que guides d'ondes, câbles coaxiaux, câbles d'alimentation, conducteurs de descente et barres des chemins de câbles (pour autant que les conducteurs descendant le long du pylône soient d'un seul tenant);
- calculer la tension transversale de crête ( $V_t$ ) dans les câbles coaxiaux, en multipliant le courant de crête par la longueur du câble et son impédance de transfert linéique. Dans le cas de câbles tubulaires et pour la gamme de fréquences des courants de foudre, l'impédance de transfert peut être considérée, en se plaçant dans une hypothèse prudente, comme étant égale à la résistance à courant continu;
- comparer la tension transversale obtenue à l'immunité de l'interface de l'équipement raccordé au câble. Si la tension transversale dépasse la valeur maximale d'immunité, un parafoudre (SPD) est nécessaire. Le calcul de  $V_t$  est exprimé sommairement par l'équation 4:

$$V_t = I_c \alpha L z_t r_x / r_{all} \quad [\text{kV}] \quad (4)$$

où:

- $I_c$ : est l'intensité critique du courant de foudre [kA];
- $z_l$ : est l'impédance de transfert linéique [ $\Omega/m$ ];
- $\alpha$ : est le facteur de distribution du courant de foudre le long du pylône, tel que défini dans l'Annexe A (grandeur sans dimension);
- $L$ : est la longueur du câble coaxial [m];
- $r_c$ : est le rayon géométrique moyen (GMR) du câble coaxial [mm];
- $r_{all}$ : est la somme des rayons géométriques moyens (GMR) de tous les conducteurs du faisceau [mm].

NOTE – Les critères retenus pour l'évaluation de la fraction du courant d'un câble coaxial permettent de procéder à une approximation par défaut qui donnera des résultats inférieurs aux grandeurs réelles lorsque le câble se trouve dans la partie centrale du faisceau.

## 11 Protection contre les effets de la foudre à l'intérieur du bâtiment

Les procédures de protection visant à affaiblir les effets inductifs du courant de foudre à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS peuvent être fondées sur les configurations d'un réseau équipotentiel (Mesh-BN) maillé ou d'un réseau équipotentiel isolé (Mesh-IBN, *mesh-isolated bonding network*) maillé. Les caractéristiques de ces configurations sont décrites dans la Rec. UIT-T K.27. Dans l'une et l'autre de ces configurations, le champ électromagnétique à l'intérieur du bâtiment peut être affaibli par l'effet d'écran des éléments métalliques présents dans les murs du bâtiment ou situés à proximité de ceux-ci. Aux fins de l'application de la présente Recommandation, ces éléments métalliques constituent la frontière entre les zones LPZ0 et LPZ1.

### 11.1 Facteur d'écran ( $\eta$ )

La tension induite à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS est affaiblie par l'action de l'effet d'écran des conducteurs métalliques couplés au câblage de la station RBS. Cet affaiblissement peut être représenté par le facteur d'écran " $\eta$ ". Les facteurs d'écran de différents blindages sont présentés brièvement ci-après.

- Matériaux ne faisant pas écran:  $\eta = 1$  (Rec. UIT-T K.39)

Cette valeur s'applique à des murs en matériaux non conducteurs, tels que bois, briques et béton non armé.

- Conteneur métallique:  $\eta = 0,01$  (Rec. UIT-T K.39)

Le conteneur métallique doit avoir ses enveloppes métalliques reliées entre elles en plusieurs points de raccordement, formant une cage métallique fermée (plancher, plafond et murs).

- Grille métallique:  $\eta = w/8,5$  (CEI 61662)

Où  $w$  est la largeur de la grille en mètres. La grille métallique doit former une cage autour du bâtiment.

- Conducteurs de terre autour du bâtiment: voir l'Annexe B pour  $\eta$

L'installation, autour du bâtiment, de conducteurs de terre formant des circuits fermés couplés au câblage interne assure un effet d'écran protégeant la station RBS. L'Annexe B indique des valeurs de facteurs d'écran pour différentes configurations de conducteurs de terre.

### 11.2 Configuration de réseau équipotentiel maillé

Les caractéristiques générales de la configuration d'un réseau équipotentiel maillé (Mesh-BN, *mesh bonding network*) (également appelé BN maillé) sont décrites dans la Rec. UIT-T K.27 [3]. En raison de considérations d'ordre pratique, le BN maillé est généralement la configuration préférable

pour un bâtiment abritant la station RBS. Les modalités de mise en œuvre de cette configuration à l'intérieur d'un bâtiment abritant la station RBS (zone LPZ1) sont les suivantes:

- tous les conducteurs – au niveau des bâtis d'équipement, des supports ou chemins de câbles et des armoires, par exemple – doivent être reliés entre eux ainsi qu'au réseau équipotentiel commun (CBN, *common bonding network*), en plusieurs points;
- le CBN se compose des conducteurs métalliques figurant dans les murs du bâtiment (à structure d'acier ou métallique), de conduits métalliques, de conducteurs de protection (PE), de pièces métalliques du système de climatisation, etc. Le CBN doit être relié au réseau de terre en plusieurs points.

La Figure 4 représente schématiquement le câblage d'une station RBS présentant une configuration de type BN maillé. La tension  $V_i$  induite dans le circuit le plus long à l'intérieur du bâtiment abritant la station RBS est donnée sous forme approchée par l'équation suivante.

$$V_i = 0.2 \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f} \quad [\text{kV}] \quad (5)$$

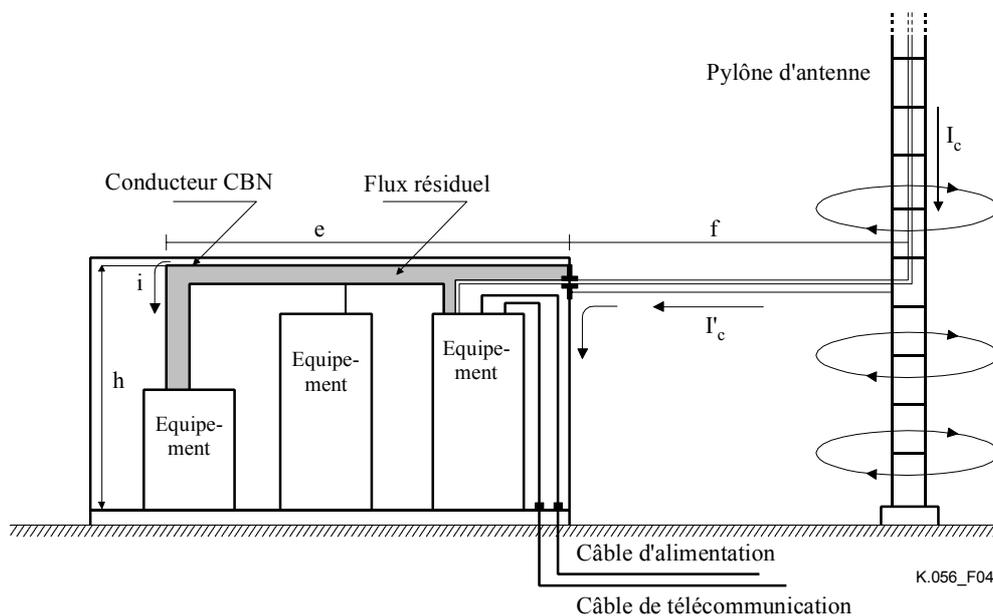
où:

$h, f, e$ : sont les dimensions physiques (en mètres) telles qu'indiquées sur la Figure 4;

$di_c/dt$ : est la vitesse de montée de l'intensité critique du courant de foudre [ $\text{kA}/\mu\text{s}$ ];

$\eta$ : est le facteur d'écran (voir § 11.1);

$k$ : est le facteur prenant en compte la connexion métallique entre le pylône et le bâtiment abritant la station RBS; dans le cas d'une station RBS type, on peut considérer, en se plaçant dans une hypothèse prudente, que ce facteur est égal à 1,5.



**Figure 4/K.56 – Station RBS avec configuration de type BN maillé**

La tension induite  $V_i$  engendrera des courants induits à l'intérieur de la station RBS. Le flux de ces courants tend à annuler le flux magnétique passant dans les circuits fermés du BN maillé. Toutefois, il subsistera, dans les circuits ouverts que constituent les câbles de signalisation et d'alimentation, un flux résiduel qui engendrera une tension induite résiduelle exprimée par l'équation 6:

$$V_r = \beta V_i \quad (6)$$

où:

$V_r$ : est la tension induite résiduelle [kV];

$V_i$ : est la tension induite (kV) donnée par l'équation 5 [kV];

$\beta$ : est le facteur de transfert indiqué dans l'Annexe C.

La tension résiduelle est appliquée entre les conducteurs de signalisation ou d'alimentation non blindés et le bâti de l'équipement. Cette tension doit être comparée à l'immunité de l'équipement. Si elle est supérieure au seuil d'immunité, il convient de réduire le facteur de transfert ( $\beta$ ) à l'aide de conducteurs assurant un effet d'écran (voir l'Annexe C) ou d'installer un parafoudre (SPD) au port entrée-sortie de l'équipement (interface entre les zones LPZ1/LPZ2).

Dans le cas d'un câble blindé, la tension résiduelle est donnée par le produit de l'impédance de transfert de ce câble par la fraction du courant induit qui passe par celui-ci. Compte tenu de la courte longueur des câbles installés dans une station RBS, les tensions induites dans un conducteur blindé sont généralement négligeables.

Par conséquent, en associant les équations 5 et 6 et en remplaçant la tension résiduelle par l'immunité de l'équipement ( $V_{res}$ ), on obtient l'équation 7 qui donne les caractéristiques de protection de l'équipement à l'intérieur d'un bâtiment abritant une station RBS utilisant une configuration de type BN maillé:

$$V_{res} \geq 0.2 \beta \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f} \quad (7)$$

En vue de satisfaire à l'équation 7, on peut tenter d'appliquer une ou plusieurs des méthodes suivantes:

- modifier la disposition de l'équipement à l'intérieur de la station RBS afin de réduire les risques d'exposition des circuits aux courants de foudre en diminuant la longueur "e" ou la hauteur "h" (voir Figure 4);
- améliorer le facteur d'écran de la station RBS (voir § 11.1) afin de réduire  $\eta$ ;
- améliorer le couplage entre les conducteurs de terre et les câbles (voir l'Annexe C) afin de réduire le facteur de transfert  $\beta$ ;
- augmenter l'immunité de l'équipement ( $V_{res}$ ) en ajoutant des parafoudres (SPD) à ses points d'accès.

### 11.3 Configuration de type IBN maillé

Les caractéristiques générales d'une configuration de type IBN maillé sont décrites dans la Rec. UIT-T K.27 [3]. Les modalités de mise en œuvre d'une telle configuration à l'intérieur d'un bâtiment abritant une station RBS (zone LPZ1) sont les suivantes:

- tous les conducteurs doivent entrer dans le bâtiment abritant la station RBS par une seule ouverture appelée fenêtre de connexion à point unique (SPCW, *single point connection window*) ou fenêtre SPC. Cette fenêtre doit être aussi petite que possible. De préférence, tous les conducteurs (y compris les câbles en provenance du pylône, les câbles d'alimentation en courant alternatif et les câbles de télécommunication des installations extérieures) doivent entrer dans la station RBS par la même fenêtre et être reliés à la même barre d'équipotentialité;
- l'équipement et le câblage à l'intérieur de la station RBS doivent être isolés du plancher et des murs. Cette isolation doit pouvoir résister à la tension induite  $V_i$  indiquée dans l'équation 5.

La Figure 5 représente de manière schématique le câblage d'une station RBS avec configuration de type IBN maillé.

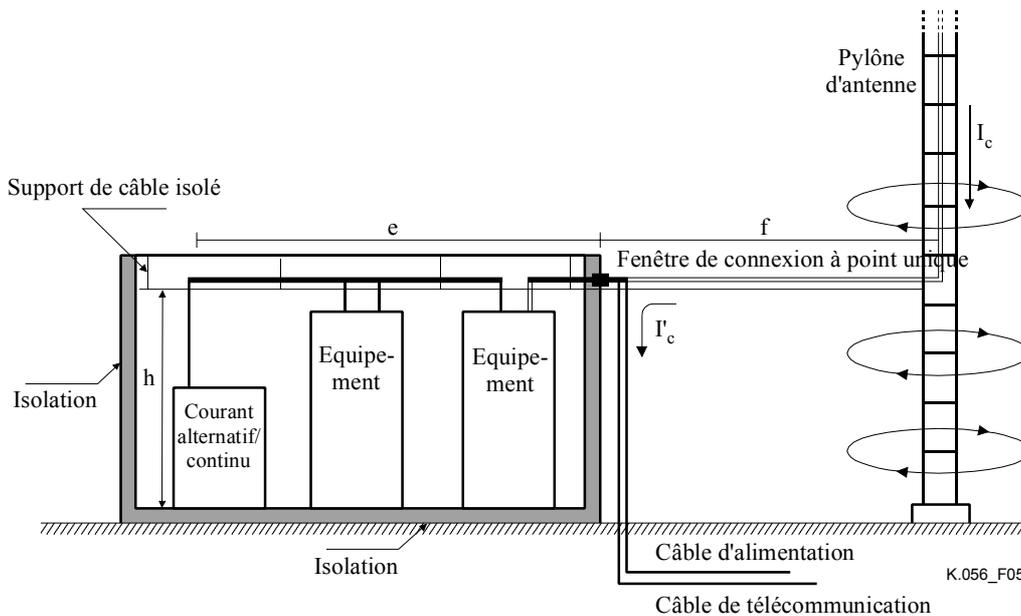


Figure 5/K.56 – Station RBS avec configuration de type IBN maillé

#### 11.4 Procédures de protection à la frontière entre les zones LPZ1 et LPZ2

La frontière entre les zones LPZ1 et LPZ2 est constituée par les armoires abritant l'équipement ainsi que par les supports et chemins de câbles (voir Figure 1). Il est recommandé de procéder comme suit:

- les câbles blindés doivent être reliés en leurs deux extrémités à la masse des armoires abritant l'équipement;
- les conducteurs de terre (PE) doivent être reliés aux supports métalliques de l'équipement;
- le support métallique des câbles (chemins de câbles) doit être relié aux supports métalliques de l'équipement au moins en deux points espacés;
- si besoin est, dans le cas d'une configuration de type BN maillé, on installera un parafoudre (SPD) entre les conducteurs non blindés et le bâti de l'équipement (voir § 11.2).

### 12 Protection contre les effets de la foudre aux points d'entrée des services

Une station RBS comporte généralement des câbles métalliques connectés à l'alimentation et, parfois, aux services de télécommunication. Les procédures de protection appliquées aux services à l'interface entre les zones LPZ0 et LPZ1 sont indiquées dans le présent paragraphe.

#### 12.1 Service d'alimentation

Afin de protéger l'interface d'alimentation contre les décharges de foudre touchant le pylône de la station RBS, il convient d'installer des parafoudres (SPD) au point où les conducteurs d'alimentation entrent dans le bâtiment abritant ladite station. Ces parafoudres protégeront également la station RBS contre les surtensions induites par la foudre et transmises jusqu'à cette station par les conducteurs d'alimentation. Les parafoudres doivent être conformes aux publications CEI 61643-1 et CEI 61643-12.

Afin de réduire la tension résiduelle au point d'entrée du système d'alimentation, le conducteur d'alimentation doit pénétrer dans le bâtiment abritant la station RBS à proximité de la borne de terre

principale (MET, *main earth terminal*). Les connexions entre les conducteurs d'alimentation, les parafoudres et la borne MET doivent être établies par le plus court chemin possible et au moyen de conducteurs d'une section transversale suffisante. On utilisera de préférence un conducteur distinct pour chaque connexion à la borne MET (voir Figure 6). Si le câble d'alimentation est blindé, son blindage doit être relié à la borne MET. Pour faire en sorte que l'immunité de la borne d'entrée d'alimentation de l'équipement ne soit pas dépassée par la tension résiduelle, il convient d'adapter les paramètres de l'installation pour qu'ils satisfassent à l'équation suivante (voir Figure 6):

$$V_{res} \geq 0.2 \frac{di_c}{dt} L_p \left[ \frac{R_g}{R_g + Z_p} \right] \ln \left[ \frac{b + r_p}{r_p} \right] - V_{spd} \quad (8)$$

où:

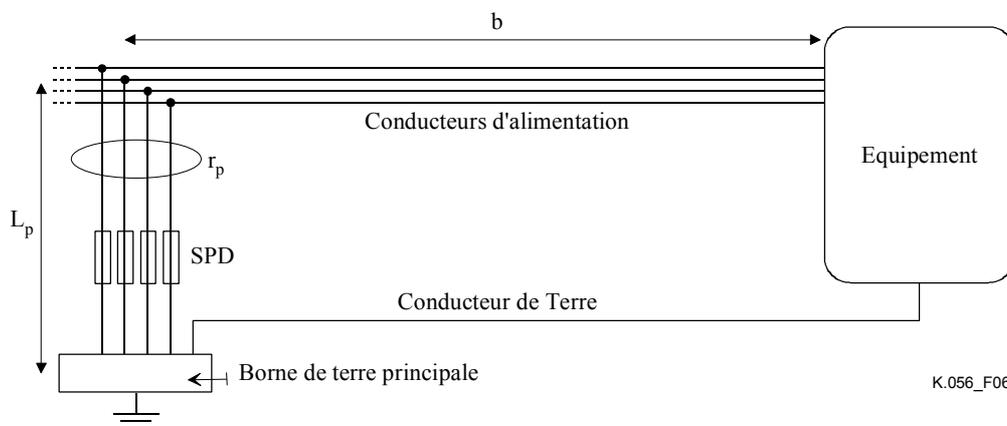
- $V_{res}$ : est l'immunité de la borne d'entrée d'alimentation de l'équipement [kV];
- $L_p$ : est la longueur de la connexion entre les conducteurs d'alimentation et la borne MET [m];
- $r_p$ : est le rayon géométrique moyen de la connexion (établie directement ou par l'intermédiaire de parafoudres) entre les conducteurs d'alimentation et la borne MET [m];
- $b$ : est la distance entre les parafoudres et l'équipement à protéger [m];
- $V_{spd}$ : est la tension résiduelle du parafoudre [kV];
- $R_g$ : est la résistance de terre de la station RBS [ $\Omega$ ];
- $Z_p$ : est l'impédance de surtension de la ligne d'alimentation [ $\Omega$ ];

L'impédance de surtension de la ligne d'alimentation est donnée par l'équation (9):

$$Z_p = 60 \ln \left\{ \left[ a + 648 (\rho / f_L)^{1/2} \right] / r_L \right\} \quad [\Omega] \quad (9)$$

où:

- $\rho$ : est la résistivité de terre [ $\Omega.m$ ];
- $f_L$ : est la fréquence représentative d'une décharge de foudre ultérieure [Hz];
- $r_L$ : est le rayon géométrique moyen de la ligne d'alimentation [m];
- $a$ : est la distance entre la ligne d'alimentation et la borne de terre avoisinante [m].



**Figure 6/K.56 – Evaluation de la longueur maximale entre les conducteurs d'alimentation et la borne de terre principale**

Le parafoudre (SPD) doit résister à un courant de choc crête conforme à l'équation 10:

$$I_{imp} \geq \frac{I_c}{2 n \times m} \text{ [kA]} \quad (10)$$

où:

$I_c$ : est l'intensité critique du courant de foudre crête (voir § 8) [kA];

$n$ : est le nombre de services assurés par des câbles métalliques connectés à la station RBS;

$m$ : est le nombre de conducteurs de la ligne d'alimentation.

## 12.2 Service de télécommunication

Afin de protéger les interfaces de télécommunication (connectées à des lignes métalliques) contre les décharges de foudre touchant le pylône de la station RBS, il est nécessaire d'installer des parafoudres (SPD) au point où les conducteurs de télécommunication entrent dans le bâtiment abritant la station RBS. Ces parafoudres protégeront également la station RBS contre les surtensions induites par la foudre et transmises jusqu'à cette station par la ligne métallique de télécommunication. Les parafoudres doivent être conformes à la Rec. UIT-T K.12.

Afin de réduire la tension résiduelle au point d'entrée du câble de télécommunication, celui-ci doit pénétrer dans le bâtiment abritant la station RDS à proximité de la borne de terre principale (MET). Les connexions entre les conducteurs de télécommunication, le parafoudre et la borne MET doivent être établies par le chemin le plus court possible et au moyen de conducteurs d'une section transversale suffisante. On utilisera de préférence plusieurs conducteurs pour la connexion à la borne MET. Si le câble de télécommunication est blindé, son blindage doit être relié à la borne MET. Pour faire en sorte que l'immunité de la borne d'entrée de l'équipement ne soit pas dépassée par la tension résiduelle, il convient d'adapter les paramètres de l'installation de manière qu'ils satisfassent à l'équation 8, dans laquelle il convient de remplacer les données de puissance par les données de télécommunication correspondantes.

Les procédures de protection des lignes de télécommunication contre les décharges de foudre directes et indirectes figurent respectivement dans les Recommandations UIT-T K.47 et K.46.

## Annexe A

### Facteur de distribution du courant de foudre le long d'un pylône ( $\alpha$ )

Durant les conditions transitoires créées par une décharge de foudre, la distribution du courant entre les conducteurs du pylône est déterminée par le couplage du flux magnétique entre les conducteurs. On entend par facteur de distribution du courant de foudre le long du pylône " $\alpha$ " la fraction du courant de foudre total qui passe à travers le faisceau formé par les câbles de télécommunication et les conducteurs associés. Des situations types sont examinées dans la présente annexe. L'évaluation du rayon géométrique moyen des conducteurs peut être effectuée selon la procédure décrite dans l'Annexe D.

#### A.1 Pylône tubulaire

Si les câbles de télécommunication sont installés à l'intérieur du pylône, le courant de foudre total qui traverse le pylône correspond à  $\alpha = 0$ . Si les câbles de télécommunication sont installés à l'extérieur du pylône, la distribution du courant est déterminée par l'équation suivante:

$$\alpha = \ln(s / r_t) / \ln(s^2 / r_t r_c)$$

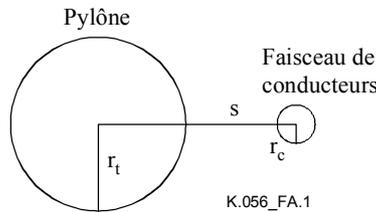
où:

$s$ : est l'espace entre l'axe du pylône et l'axe du faisceau de conducteurs;

$r_t$ : est le rayon géométrique moyen du pylône;

$r_c$ : est le rayon géométrique moyen du faisceau de conducteurs.

La Figure A.1 illustre les dimensions considérées.



**Figure A.1/K.56 – Distances pour un pylône tubulaire**

## A.2 Pylône à trois pieds

Dans le cas d'un pylône à trois pieds, les situations types suivantes peuvent être observées (voir la Figure A.2):

a) Câble situé à une distance arbitraire " $s$ " d'un des pieds (voir Figure A.2).

$$\alpha = \{1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln[s(3d^2 + s^2 - 3ds) / (3r_t d^2)]\}^{-1}$$

b) Câble situé au centre du pylône ( $s = d$ ).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(d / r_c) / \ln(d / 3r_t)]^{-1}$$

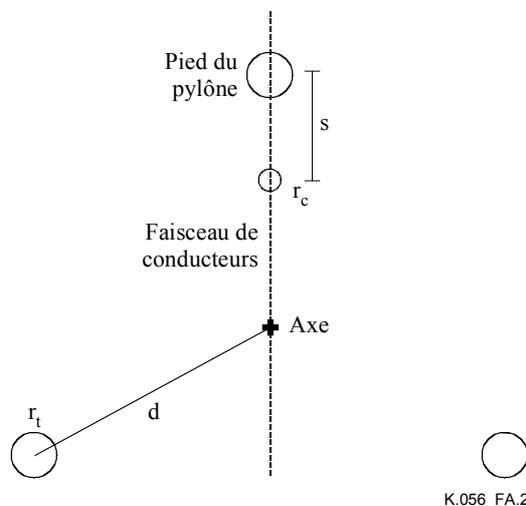
c) Câble situé en position latérale ( $s = 3d/2$ ).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(3d / 2r_c) / \ln(3d / 8r_t)]^{-1}$$

d) Câble situé à proximité d'un des pieds ( $s \ll d$ ).

$$\alpha = [1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln(s / r_t)]^{-1}$$

La distance " $d$ " est la distance entre le pied et l'axe du pylône.



**Figure A.2/K.56 – Distances pour un pylône à trois pieds**

### A.3 Pylône à quatre pieds

Dans le cas d'un pylône à quatre pieds, les situations types suivantes peuvent être observées (voir la Figure A.3):

- a) Câble situé à une distance arbitraire "s" d'un des pieds (voir Figure A.3).

$$\alpha = \{1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln [s (2d - s) / (2 r_t d)]\}^{-1}$$

- b) Câble situé au centre du pylône ( $s = d$ ).

$$\alpha = [1 + 4 \ln (d / r_c) / \ln (d / 2 r_t)]^{-1}$$

- c) Câble situé à proximité d'un des pieds ( $s \ll d$ ).

$$\alpha = [1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln (s / r_t)]^{-1}$$

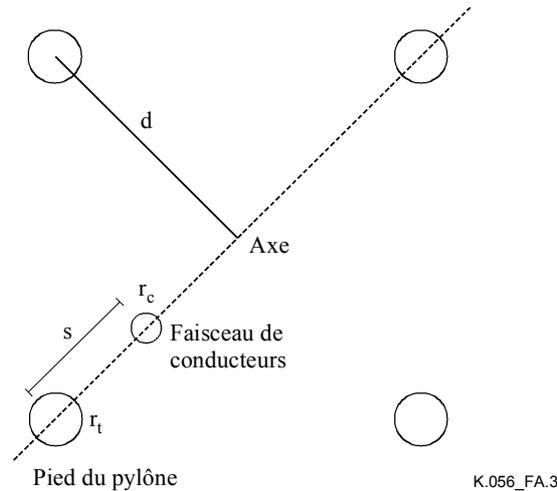


Figure A.3/K.56 – Distances pour un pylône à quatre pieds

## Annexe B

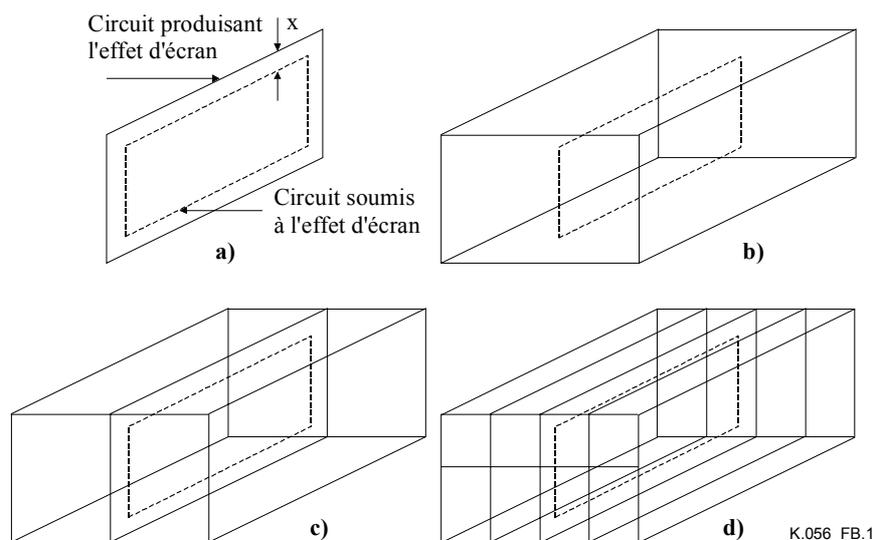
### Facteur d'écran ( $\eta$ ) des circuits d'un réseau équipotentiel commun

Les facteurs d'écran ( $\eta$ ) assurés par les conducteurs du réseau équipotentiel commun (CBN) qui forment des circuits fermés couplés aux conducteurs de télécommunication sont indiqués dans le Tableau B.1, pour les configurations de conducteurs types représentées sur la Figure B.1. Le circuit soumis à l'effet d'écran est formé par les câbles de télécommunication, les bâtis de l'équipement et une partie du circuit du réseau CBN (le système de mise à la terre, par exemple).

**Tableau B.1/K.56 – Facteurs d'écran pour différentes configurations de réseau CBN**

Configuration	Illustration	Facteur d'écran( $\eta$ )		
		x = 0,15 m	x = 0,4 m	x = 0,8 m
Circuit unique	Figure B.1a	0,37	0,48	0,59
Cage	Figure B.1b	0,45	0,45	0,45
Cage à 1 supraconducteur	Figure B.1c	0,21	0,27	0,33
Cage à 3 supraconducteurs	Figure B.1d	0,16	0,19	0,23

NOTE – Ces valeurs ont été obtenues à partir d'un modèle réduit représentant une station RBS type.



**Figure B.1/K.56 – Configuration d'effet d'écran type pour une station RBS**

## Annexe C

### Facteur de transfert ( $\beta$ ) pour chemins de câbles et conducteurs de terre

#### C.1 Conducteur de terre unique

La fonction de transfert assurée par un conducteur de terre unique est donnée sous forme approchée par l'équation suivante:

$$\beta = \ln [ s / r_e ] / \ln [ 2 h / r_e ]$$

où:

$s$ : est l'espacement entre le conducteur de terre et le conducteur de télécommunication (m);

$r_e$ : est le rayon du conducteur de terre (m);

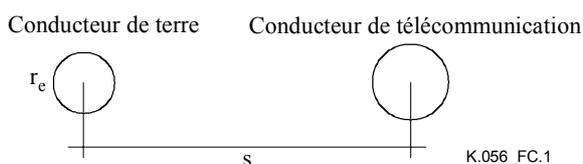
$h$ : est la hauteur du conducteur de terre (m).

NOTE – Cette équation est valable pour  $h \gg s$ .

La Figure C.1 représente le schéma des conducteurs et le Tableau C.1 indique les valeurs de  $\beta$  pour des valeurs types des paramètres.

**Tableau C.1/K.56 – Fonction de transfert pour un conducteur de terre unique ( $h = 2 \text{ m}$ )**

Espacement (s) en mm	Rayon du conducteur de terre ( $r_e$ ) en mm			
	1	2	3	4
10	0,28	0,21	0,17	0,13
25	0,39	0,33	0,29	0,27
50	0,47	0,42	0,39	0,37
100	0,56	0,51	0,49	0,47
200	0,64	0,61	0,58	0,57
500	0,75	0,73	0,71	0,70



**Figure C.1/K.56 – Diagramme de connexion d'un conducteur de terre unique**

## C.2 Deux conducteurs de terre

La fonction de transfert assurée par deux conducteurs de terre est donnée sous forme approchée par l'équation suivante:

$$\beta = 0,5 \ln \left[ \frac{s(d-s)}{d r_e} \right] / \ln \left[ \frac{2h}{(d r_e)^{1/2}} \right]$$

où:

$s$ : est l'espacement entre le conducteur de terre et le conducteur de télécommunication (m);

$r_e$ : est le rayon du conducteur de terre (m);

$h$ : est la hauteur du conducteur de terre (m);

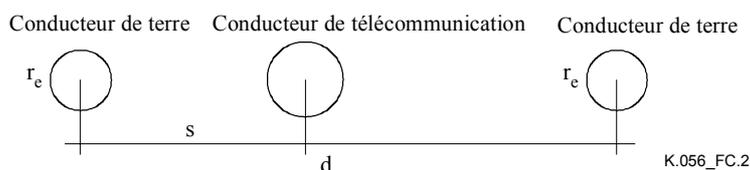
$d$ : est la distance entre les conducteurs de terre (m).

NOTE – Cette équation est valable pour  $h \gg s$ .

La Figure C.2 représente le schéma des conducteurs et le Tableau C.2 indique les valeurs de  $\beta$  pour les valeurs types des paramètres.

**Tableau C.2/K.56 – Fonction de transfert pour deux conducteurs de terre ( $h = 2 \text{ m}$  et  $d = 0,4 \text{ m}$ )**

Espacement (s) en mm	Rayon du conducteur de terre ( $r_e$ ) en mm			
	1	2	3	4
10	0,21	0,16	0,12	0,10
25	0,30	0,25	0,22	0,19
50	0,36	0,31	0,28	0,26
100	0,41	0,37	0,34	0,32
200	0,43	0,40	0,37	0,35



**Figure C.2/K.56 – Schéma de connexion pour deux conducteurs de terre**

### C.3 Chemin de câbles de terre

La fonction de transfert assurée par un chemin de câbles conducteurs est donnée sous forme approchée par l'équation suivante:

$$\beta = (2s/a) \arctg(a/s) / \ln(2h\pi/a)$$

où:

$s$ : est l'espacement entre le chemin de câbles et le conducteur de télécommunication (m);

$a$ : est la largeur du chemin de câbles de terre (m);

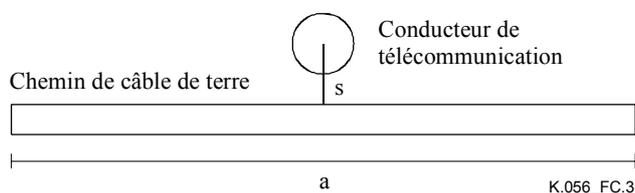
$h$ : est la hauteur du chemin de câbles de terre (m).

NOTE – Cette équation est valable pour  $a \gg s$ ,  $h \gg a$  et pour une distance entre le conducteur de télécommunication et le bord du chemin de câbles supérieure à  $s$ .

La Figure C.3 représente le schéma des conducteurs et le Tableau C.3 indique les valeurs de  $\beta$  pour des valeurs types des paramètres.

**Tableau C.3/K.56 – Fonction de transfert du chemin de câbles de terre ( $h = 2$  m)**

Espacement ( $s$ ) en mm	Largeur du chemin de câbles de terre ( $a$ ) en m			
	0,1	0,2	0,3	0,4
5	0,031	0,019	0,014	0,011
10	0,061	0,037	0,027	0,022
25	0,14	0,087	0,066	0,055
50	0,23	0,16	0,13	0,10
100	0,32	0,27	0,22	0,19



**Figure C.3/K.56 – Schéma de connexion du chemin de câbles de terre**

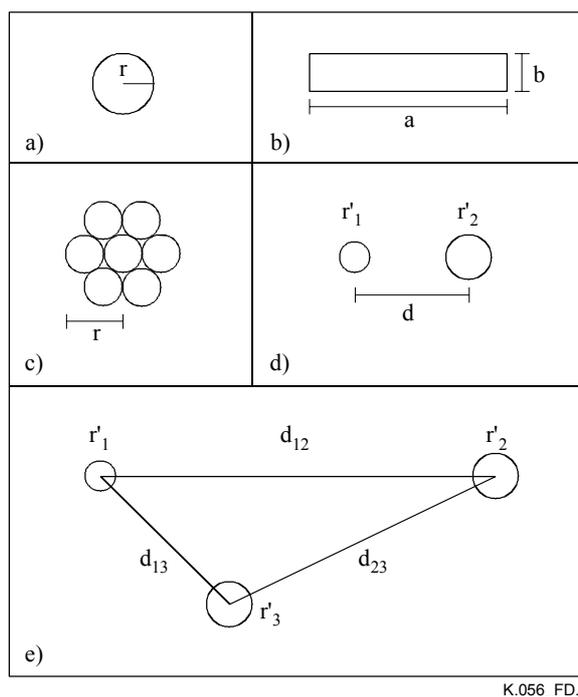
## Annexe D

### Rayon géométrique moyen

Le Tableau D.1 indique le rayon géométrique moyen de conducteurs de diverses configurations types.

**Tableau D.1/K.56 – Rayon géométrique moyen de conducteurs**

Conducteur(s)	Illustration	Rayon géométrique moyen
Conducteur circulaire plein	Figure D.1a	$r$
Conducteur rectangulaire plein	Figure D.1b	$0.318 (a + b)$
Conducteur à sept torons	Figure D.1c	$r$
Deux conducteurs parallèles	Figure D.1d	$(d^2 r_1' r_2')^{1/4}$
Trois conducteurs parallèles	Figure D.1e	$(d_{12}^2 d_{13}^2 d_{23}^2 r_1' r_2' r_3')^{1/9}$
n conducteurs parallèles	–	$(d_{12}^2 d_{13}^2 \dots d_{1n}^2 d_{23}^2 \dots d_{(n-1)n}^2 r_1' r_2' r_3' \dots r_n')^{1/(n \cdot n)}$
NOTE – Compte tenu des effets inductifs du courant de foudre (rapport $d_r/d_r$ élevé), le flux magnétique interne des conducteurs n'a pas été pris en considération (effet pelliculaire parfait). Pour un ensemble de conducteurs, on a pris en considération la densité du courant symétrique à la périphérie des conducteurs (mais pas l'effet de proximité).		



K.056\_FD.1

**Figure D.1/K.56 – Rayon géométrique moyen de conducteurs types**

## Appendice I

### Principes de base du temps en montée d'impulsion équivalent

La tension induite à proximité d'une décharge de foudre est proportionnelle à la vitesse de montée du courant. Le temps en montée d'impulsion équivalent ( $t_{eff}$ ) est une valeur de temps arbitraire qui divise le courant de crête et donne la vitesse de montée maximale du courant. Le Tableau I.1 indique les valeurs de la vitesse de montée maximale et du courant de crête pour les mesures effectuées par Berger à Monte San Salvatore<sup>1</sup>. Ces données se rapportent au premier choc de retour des décharges négatives descendantes, qui sont les décharges les plus probables dans des pylônes de stations RBS.

**Tableau I.1/K.56 – Distribution de la vitesse de montée du courant et des valeurs de crête selon Berger<sup>1</sup>**

Paramètre	Unité	Pourcentage dépassant la valeur indiquée dans le tableau		
		95%	50%	5%
Vitesse de montée maximale du courant ( $di/dt$ )	kA/ $\mu$ s	9,1	24,3	65,0
Première crête ( $I_1$ )	kA	12,9	27,7	59,5
Seconde crête ( $I_2$ )	kA	14,1	31,1	68,5
$I_1/(di/dt)$	$\mu$ s	1,42	1,14	0,92
$I_2/(di/dt)$	$\mu$ s	1,55	1,28	1,05

Le rapport  $I_1/(di/dt)$  est le temps en montée d'impulsion équivalent ( $t_{eff}$ ). Comme il ressort du Tableau I.1, l'adoption d'une valeur de 1  $\mu$ s pour le temps en montée d'impulsion équivalent ( $t_{eff} = 1 \mu$ s) permet d'évaluer de manière acceptable la vitesse de montée du courant par rapport à la valeur de crête.

## Appendice II

### Exemple d'application

La Figure II.1 représente la configuration de la station RBS retenue à titre d'exemple. Les caractéristiques de base de cette station sont les suivantes:

Pylône d'antenne:

- hauteur: 40 m; situé à 4 m du bâtiment abritant la station RBS ( $f = 4$  m);
- trois pieds métalliques, espacés entre eux de 2,6 m;
- diamètre de chaque pied cylindrique: 0,4 m.

Faisceau de conducteurs au centre du pylône (voir Figure II.2):

<sup>1</sup> ANDERSON (R.B.), ERIKSSON (A.J.), Lightning parameters for engineering application, CIGRE Electra 69, 1980.

- trois câbles coaxiaux provenant des antennes mobiles ( $r = 12$  mm, impédance de transfert  $z_t = 1 \Omega/\text{km}$ );
- un câble coaxial provenant de l'antenne hertzienne ( $r = 8$  mm, impédance de transfert  $z_t = 2 \Omega/\text{km}$ );
- deux barres de maintien des câbles; largeur = 80 mm, épaisseur = 5 mm.

Bâtiment abritant la station RBS: construction en béton, de  $5 \times 3 \times 3$  m (continuité de l'armature en acier inconnue).

Hauteur du câblage: 2,4 m à l'intérieur de la station RBS ( $h = 2,4$  m).

Longueur du câblage: 4 m à l'intérieur de la station RBS ( $e = 4$  m).

Câble d'alimentation: ligne aérienne basse tension (hauteur: 6 m).

Câble de télécommunication: aucun (connexion amont par liaison hertzienne).

Sol: terrain accidenté (au sommet d'une montagne) d'une résistivité moyenne égale à  $500 \Omega \cdot \text{m}$ .

Densité des impacts de foudre au sol: cinq éclairs au sol par  $\text{km}^2$  par année ( $N_g = 5$ ).

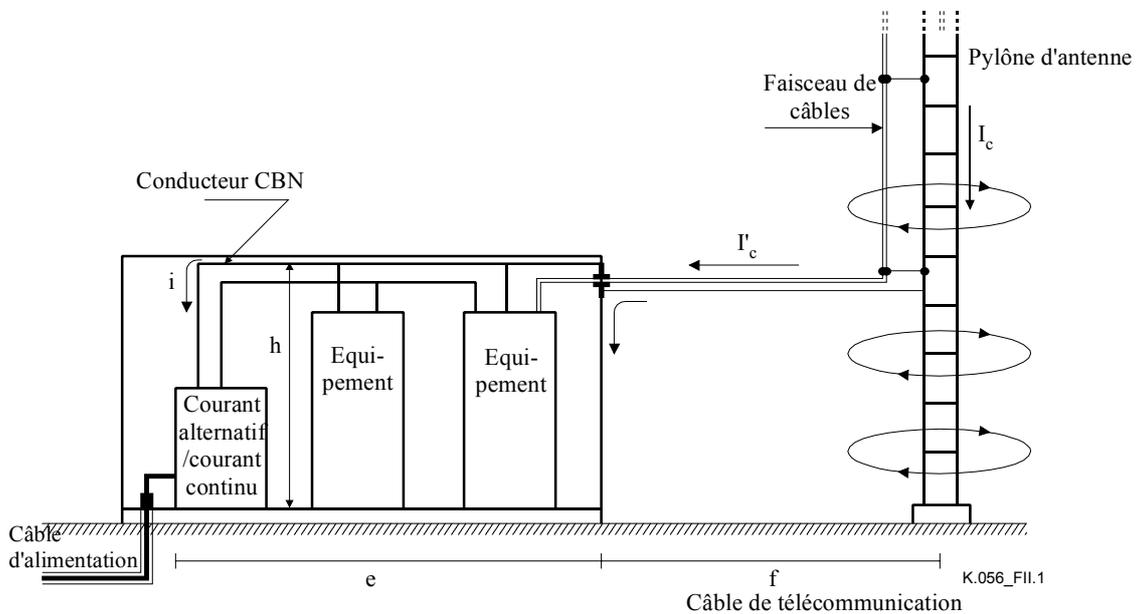


Figure II.1/K.56 – Exemple de station RBS

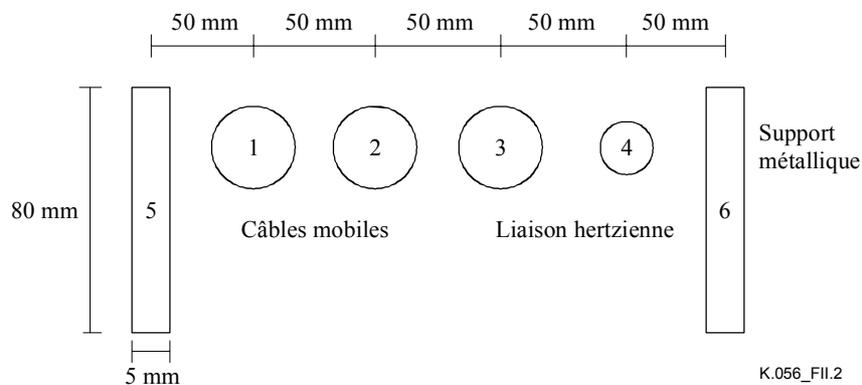


Figure II.2/K.56 – Espacement entre les conducteurs le long du pylône (coupe transversale)

Pour suivre les opérations, veuillez vous reporter à l'organigramme de la Figure 2.

**Opération 1:** détermination de la fréquence tolérable des dommages

Attribution à  $F_t$  d'une des valeurs types indiquées dans le § 7.1 à savoir:

$$F_t = 0,05$$

**Opération 2:** calcul de  $F_a$  et  $F_d$

Selon l'équation 1:

$$F_a = (9) (2) (\pi) (0.04)^2 (5) = 0,45 \text{ décharges par année}$$

$$F_a = 0,45$$

Compte tenu de la procédure décrite au § 7.3, la zone autour du pylône est définie par le rayon:

$$R = (3) (40 - 3) = 111 \text{ m}$$

Etant donné que le bâtiment abritant la station RBS est proche du pylône ( $4 \text{ m} < 111 \text{ m}$ ), la probabilité d'une décharge directe de foudre touchant le bâtiment est négligeable. Par conséquent:

$$F_d = 0$$

**Opération 3:** analyse des probabilités

$$F_t \geq F_a + F_d \quad ? \quad \text{Non}$$

$$F_a < 10 F_d \quad ? \quad \text{Non}$$

NOTE 1 – Une réponse négative aux deux questions précédentes signifie que l'installation relève du domaine d'application de la présente Recommandation.

**Opération 4:** calcul des paramètres des courants de foudre

D'après les équations données au § 8:

$$p_a = R_t / R_a = 0,05 / 0,45 = 0,11$$

$$I_c = 77 \text{ kA}$$

$$di_c/dt = 77 \text{ kA} / \mu\text{s}$$

**Opération 5:** mise à la terre et mise à la masse

Le § 9 indique quelques règles à appliquer pour assurer la mise à la terre et la mise à la masse à l'extérieur du bâtiment abritant la station RBS.

**Opération 6:** nécessité de parafoudres (SPD) au niveau des câbles coaxiaux provenant du pylône

Selon le § 10 et l'Annexe A:

$$d = (2,6) / (3)^{1/2} = 1,50 \text{ m (distance entre le faisceau et un des pieds)}$$

Rayon géométrique moyen (GMR):

$$\text{Pied du pylône: } r_t = (0,4) / (2) = 0,2 \text{ m}$$

Faisceau de conducteurs:

Les rayons géométriques moyens (GMR) des 6 conducteurs de la Figure II.2 s'établissent comme suit:

$$\text{Câbles coaxiaux de l'antenne mobile: } r_1 = r_2 = r_3 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Câble coaxial de la liaison hertzienne: } r_4 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Barres de maintien: } r_5 = r_6 = 27 \text{ mm}$$

Distances entre les conducteurs:

$$d_{12} = d_{23} = d_{34} = d_{15} = d_{46} = 50 \text{ mm}$$

$$d_{25} = d_{24} = d_{13} = d_{36} = 100 \text{ mm}$$

$$d_{14} = d_{35} = d_{26} = 150 \text{ mm}$$

$$d_{45} = d_{16} = 200 \text{ mm}$$

$$d_{56} = 250 \text{ mm}$$

Selon l'équation correspondant à "n" conducteurs du Tableau D.1:

$$r_c = [50^{10} \times 100^8 \times 150^6 \times 200^4 \times 250^2 \times 12^3 \times 27^2 \times 8]^{1/36}$$

$$r_c = 73 \text{ mm}$$

NOTE 2 – Le couplage de flux équivalent du faisceau est égal à celui d'un conducteur cylindrique d'un rayon de 73 mm.

Etant donné que le faisceau est au centre du pylône:

$$\alpha = [1 + 3 \ln (1500 / 73) / \ln (1500 / 600)]^{-1} = 0,092$$

Il s'ensuit que 9,2% du courant de foudre passe par le faisceau.

Revenons au § 10:

Tension transversale du câble coaxial de l'antenne mobile:

$$V_t = (77) (0,092) (40) (0,001) (12) / (36 + 8 + 54) = 0,035 \text{ kV}$$

Tension transversale du câble coaxial de l'antenne hertzienne:

$$V_t = (77) (0,092) (40) (0,002) (8) / (36 + 8 + 54) = 0,046 \text{ kV}$$

Ces valeurs seront probablement inférieures au seuil d'immunité de l'équipement radioélectrique considéré; il ne sera donc pas nécessaire d'installer un parafoudre.

**Opération 7:** tension induite à l'intérieur du bâtiment ( $V_i$ )

La tension induite peut être calculée selon l'équation 5:

$$V_i = (0,2) (77) (2,4) (1,5) (1) \ln [(4 + 4) / 4] = 38,4 \text{ kV}$$

**Opération 8:** configuration équipotentielle

Compte tenu de la tension induite relativement élevée à l'intérieur de la station RBS et des difficultés que posent la mise en place et la maintenance d'un réseau IBN maillé, la mise à la masse est facultative dans le cas d'une configuration de type BN maillé.

**Opération 9:** tension résiduelle aux interfaces de l'équipement

Etant donné que l'effet d'écran n'est assuré que par un seul fil de terre (de 4 mm de diamètre) installé à 100 mm des câbles de télécommunication, l'Annexe C indique  $\beta = 0,51$ . En nous reportant une nouvelle fois au § 11.2, la valeur de  $V_r$  s'établit comme suit:

$$V_r = (0,51) (38,4) = 19,6 \text{ kV}$$

Cette valeur est probablement supérieure au seuil d'immunité de l'équipement. A supposer que le seuil d'immunité soit de 1 kV et que l'installation d'un parafoudre (SPD) pose des problèmes d'ordre pratique (du fait de la présence de nombreux conducteurs non blindés, par exemple), il y aura lieu de renforcer l'effet d'écran du bâtiment.

Pour ce faire, on pourra:

- installer 3 conducteurs de terre autour du bâtiment, le conducteur central étant placé à environ 40 cm des conducteurs internes principaux ( $\eta = 0,27$ );

- installer un chemin de câbles de terre de 30 cm de largeur sous les conducteurs, de manière que ceux-ci se trouvent à au moins 25 mm du chemin de câbles (distance entre le centre du conducteur et la surface du chemin de câbles) et à au moins 25 mm du bord du chemin de câbles. Celui-ci doit être relié électriquement à la masse des supports/armoires de l'équipement aux deux extrémités. On obtient alors  $\beta = 0,066$ .

Ainsi:

$$V_r = (38,4) (0,27) (0,066) = 0,68 \text{ kV}$$

Cette valeur est, comme il se doit, inférieure au seuil d'immunité de l'équipement considéré.

**Opération 10:** mise à la masse des supports/armoires de l'équipement

Les procédures de mise à la masse décrites au § 11.4 visent à isoler les éléments métalliques à l'intérieur du bâtiment par un blindage approprié.

**Opération 11:** protection du point d'entrée du système d'alimentation

Une procédure permettant de limiter la tension résiduelle sur le câble de raccordement du parafoudre (SPD) au point d'entrée dans le bâtiment est définie dans le § 12.1.

Supposons que les valeurs des données ci-dessous (voir Figure 6) soient les suivantes:

Immunité de la borne d'entrée du redresseur:  $V_{res} = 2,0 \text{ kV}$

Rayon géométrique moyen du câble de raccordement du parafoudre (SPD):  $r_p = 28 \text{ mm}$

(ce qui équivaut à 4 conducteurs de  $6 \text{ mm}^2$  de section, régulièrement espacés entre eux de 50 mm)

Distance entre le parafoudre (SPD) et le redresseur:  $b = 4 \text{ m}$

(le parafoudre étant installé d'un côté du bâtiment et le redresseur de l'autre)

Tension résiduelle du parafoudre:  $V_{spd} = 1,0 \text{ kV}$  (parafoudre à écrêtage)

Résistance de terre de la station RBS:  $R_g = 5 \Omega$

Impédance de surtension de la ligne d'alimentation:  $Z_p = 458 \Omega$

(pour  $\rho = 500 \Omega \cdot \text{m}$ ,  $f_L = 1 \text{ MHz}$ ,  $r_L = 10 \text{ mm}$ , hauteur = 6 m)

Afin de maintenir la tension résiduelle au-dessous du seuil d'immunité de l'équipement, la longueur maximale du câble de raccordement du parafoudre (voir le § 12.1) s'établit comme suit:

$$L_p = (2,0 - 1,0) (458 + 5) / \{ (0,2) (77) (5) \ln [(4 + 0,028) / 0,028] \} = 1,2 \text{ m}$$

Il s'agit de la distance maximale entre le câble de raccordement du parafoudre avec ses câbles d'alimentation et la borne de terre principale (MET, *main earth terminal*), comme indiqué sur la Figure 6.

Etant donné que le seul câble métallique assurant un service et connecté au parafoudre est la ligne d'alimentation et que celle-ci comporte quatre conducteurs (3 de phase et 1 neutre), l'équation (10) exprime la valeur de crête du courant du parafoudre comme suit:

$$I_{imp} \geq 77 / [ (2) (1) (4) ]$$

$$I_{imp} \geq 9,6 \text{ kA}$$

**Opération 12:** protection du point d'entrée du câble de télécommunication

Aucune ligne métallique de télécommunication n'entre dans le bâtiment abritant la station RBS.

**Opération 13:** fin du projet

La station RBS est protégée compte tenu de la fréquence tolérable des dommages ( $F_t$ ).





## 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	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
<b>Série K</b>	<b>Protection contre les perturbations</b>
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie 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 de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication