



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**K.47**

(12/2000)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES  
PERTURBATIONS

---

**Protection des lignes de télécommunication à  
conducteurs métalliques contre les décharges  
directes de foudre**

Recommandation UIT-T K.47

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

---



**Protection des lignes de télécommunication à conducteurs  
métalliques contre les décharges directes de foudre**

**Résumé**

La présente Recommandation décrit une procédure visant à protéger les lignes de télécommunication, à conducteurs métalliques, contre la foudre, qu'il s'agisse de la ligne elle-même ou des structures par lesquelles la ligne pénètre. Cette procédure doit permettre de protéger les lignes contre les effets directs de la foudre. Elle porte sur le choix des caractéristiques du câble et son installation, la mise à l'équipotentiel/à la terre du blindage du câble, l'utilisation de fils de blindage, l'installation de parafoudres (SPD, *surge protective device*) et la redondance de cheminement.

**Source**

La Recommandation K.47 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 5 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 8 décembre 2000 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

## 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.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), 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 la CMNT.

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.

## 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 2002

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

		<b>Page</b>
1	Domaine d'application .....	1
2	Références normatives .....	1
3	Définitions .....	2
4	Configuration de référence .....	2
5	Probabilité d'endommagement.....	3
5.1	Généralités .....	3
5.2	Fréquence d'endommagement des câbles .....	4
5.3	Fréquence des dommages causés aux structures d'entrée des câbles.....	4
5.4	Paramètres d'évaluation de la fréquence des dommages .....	4
	5.4.1 Densité d'impacts de foudre au sol ( $N_g$ ) .....	4
	5.4.2 Facteur de probabilité de courant ( $p(i)$ ).....	5
	5.4.3 Facteur environnemental ( $K_e$ ) .....	5
	5.4.4 Distance d'amorçage ( $D$ ) .....	5
	5.4.5 Facteur de correction pour les dommages ( $K_d$ ).....	6
6	Détermination du courant de défaillance ( $I_a$ ).....	6
6.1	Foudre tombant sur des câbles.....	6
6.2	Foudre tombant sur des structures d'entrée du câble .....	6
7	Procédures de protection.....	6
7.1	Choix de l'environnement .....	7
7.2	Choix du câble .....	7
	7.2.1 Câble diélectrique à fibres optiques.....	7
	7.2.2 Câble à fort courant de claquage de gaine.....	8
	7.2.3 Câble à haute tension de claquage de gaine .....	8
7.3	Installation souterraine ou aérienne .....	8
7.4	Utilisation des parafoudres (SPD) .....	8
7.5	Blindage .....	9
7.6	Redondance de cheminement .....	9
	Annexe A – Evaluation du courant de claquage de gaine .....	10
A.1	Câble enterré .....	10
A.2	Câble aérien .....	10

	<b>Page</b>
Appendice I – Essais d'évaluation de l'immunité des câbles aux surtensions .....	11
I.1 Tension de claquage ( $U_b$ ).....	11
I.2 Courant d'épreuve ( $I_t$ ) pour câbles enterrés .....	11
I.3 Courant d'épreuve ( $I_t$ ) pour câbles aériens.....	12
Appendice II – Probabilité d'interruption du service due à des dommages ( $\delta$ ) .....	12

## Recommandation UIT-T K.47

### Protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques contre les décharges directes de foudre

#### 1 Domaine d'application

La présente Recommandation porte sur la protection des lignes de télécommunication à conducteurs métalliques, contre les décharges directes de la foudre, qu'il s'agisse des lignes elles-mêmes ou sur des structures par lesquelles elles pénètrent dans un bâtiment. Lors de l'application de la présente Recommandation, il faut d'abord utiliser les procédures destinées à protéger la ligne contre les surtensions induites par la foudre, comme décrit dans la référence [1].

Les lignes dont il est question dans la présente Recommandation sont celles qui nécessitent une conception particulière du point de vue de leur protection, du fait de leur exposition aux effets directs de la foudre ou d'exigences élevées en matière de fiabilité du service. Pour ces lignes, la présente Recommandation décrit une procédure permettant d'évaluer la probabilité d'endommagement ( $R_p$ ) par effet direct de la foudre. Lorsque cette valeur est supérieure à la probabilité d'endommagement tolérable ( $R_t$ ), des procédures de protection additionnelles doivent être appliquées à la ligne de télécommunication afin de réduire la probabilité  $R_p$ .

Les lignes constituées des types de câble suivants sont visées par la présente Recommandation:

- câble symétrique: câble doté d'une gaine métallique et d'une âme constituée d'une ou de plusieurs paires métalliques symétriques, avec ou sans gaine de plastique et/ou sans fil porteur;
- câble coaxial: câble à conducteurs métalliques internes et externes séparés par un diélectrique, avec ou sans gaine de plastique et/ou fil porteur.

Les procédures de protection pour les lignes avec câbles à fibres optiques sont spécifiées dans la référence [2].

#### 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.

- [1] UIT-T K.46 (2000), *Protection des lignes de télécommunication, à conducteurs métalliques symétriques contre les surtensions induites par la foudre.*
- [2] UIT-T K. 25 (2000), *Protection des câbles à fibres optiques.*
- [3] UIT-T K.12 (2000), *Caractéristiques des parafoudres à gaz destinés à la protection des installations de télécommunication.*
- [4] Publication de la CEI 61663-2: *Protection contre la foudre – Lignes de télécommunication – Partie 2: Lignes utilisant des conducteurs métalliques.*

### 3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 probabilité d'endommagement ( $R_p$ ):** interruption annuelle du service prévisible dans une ligne de télécommunication due aux effets directs de la foudre.
- 3.2 probabilité d'endommagement acceptable ( $R_t$ ):** niveau de risque d'endommagement maximal ne nécessitant pas de mesures de protection supplémentaires.
- 3.3 durée probable d'interruption de service par dommage ( $\delta$ ):** durée probable d'interruption de service par dommage dû à une décharge directe de foudre sur une ligne de télécommunication.
- 3.4 fréquence d'endommagement ( $F_p$ ):** nombre annuel moyen d'interruptions de service sur une ligne de télécommunication dues à des décharges directes de foudre.
- 3.5 distance d'amorçage ( $D$ ):** distance de part et d'autre de la ligne qui, multipliée par 2 et par la longueur ( $L$ ) de la ligne et par la densité d'impacts de foudre au sol ( $N_g$ ), donne le nombre annuel de décharges de foudre sur cette ligne.
- 3.6 courant de défaillance ( $I_a$ ):** valeur minimale du courant crête de foudre susceptible d'endommager une ligne de télécommunication.
- 3.7 courant de claquage de gaine ( $I_s$ ):** intensité minimale s'écoulant dans la gaine métallique d'un câble et induisant des tensions de claquage entre celle-ci et des éléments métalliques de l'âme du câble, provoquant ainsi des dommages.
- 3.8 courant d'épreuve ( $I_t$ ):** intensité minimale injectée par un arc dans la gaine métallique d'un câble et provoquant un dommage par effet thermique ou mécanique.
- 3.9 tension de claquage ( $U_b$ ):** tension impulsive de claquage entre des éléments métalliques de l'âme d'un câble de télécommunication et la gaine métallique de celui-ci.
- 3.10 niveau kéraunique ( $T_d$ ):** nombre de jours par an pendant lesquels le tonnerre est entendu en un endroit donné.
- 3.11 facteur de correction d'endommagement ( $K_d$ ):** facteur permettant une évaluation prudente de la fréquence des dommages.
- 3.12 facteur de protection ( $K_p$ ):** facteur prenant en compte les effets des procédures de protection.

### 4 Configuration de référence

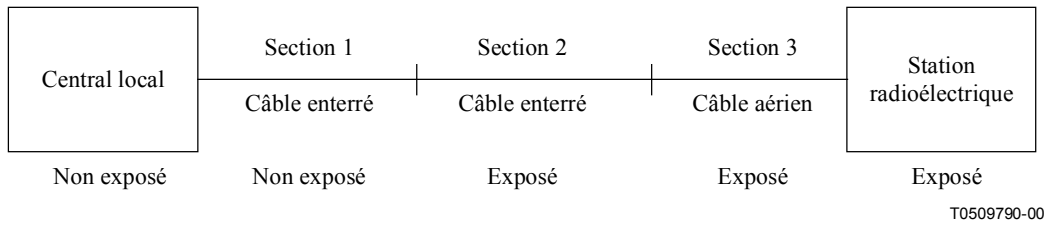
Pour évaluer la probabilité d'endommagement ( $R_p$ ) d'une ligne, il peut être nécessaire de segmenter celle-ci de façon que chaque section ait les mêmes caractéristiques à savoir:

- le type d'installation de câble (aérien, souterrain);
- le niveau kéraunique;
- la résistivité moyenne du sol;
- le type de câble;
- le type d'environnement (urbain, suburbain, rural).

Il importe également d'identifier les structures exposées dans lesquelles la ligne ou ses dérivations pénètrent. La valeur de la probabilité  $R_p$  doit être évaluée pour chaque section. La valeur de  $R_p$  pour la ligne est la somme des valeurs relatives à chaque section, y compris les valeurs correspondant à des impacts de foudre sur les structures dans lesquelles la ligne pénètre. La Figure 1 montre un



exemple de ligne ayant différents types d'environnement et d'installation de câble. La valeur de  $R_p$  pour cette ligne doit être calculée pour les trois sections et la structure exposées de cette ligne.



**Figure 1/K.47 – Configuration de référence (exemple)**

## 5 Probabilité d'endommagement

### 5.1 Généralités

Les procédures de protection contre la foudre d'une ligne de télécommunication dépendent de la probabilité d'endommagement ( $R_p$ ) et de la probabilité d'endommagement tolérable ( $R_t$ ) sur cette ligne. La probabilité d'endommagement ( $R_p$ ) est donnée par l'équation suivante:

$$R_p = F_{pa} \delta_a + F_{pb} \delta_b + F_{ps} \delta_s \quad (1)$$

où:

$F_{pa}$  est la fréquence des dommages dus aux décharges directes de la foudre sur les câbles aériens;

$F_{pb}$  est la fréquence des dommages dus aux décharges directes de la foudre sur les câbles enterrés;

$F_{ps}$  est la fréquence des dommages dus aux décharges directes de la foudre sur les structures dans lesquelles le câble pénètre;

$\delta_a$  est la probabilité d'interruption du service due à des dommages directs causés par la foudre sur des câbles aériens;

$\delta_b$  est la probabilité d'interruption de service due à des dommages directs causés par la foudre sur des câbles enterrés;

$\delta_s$  est la probabilité d'interruption du service due à des dommages directs causés par la foudre sur des structures dans lesquelles le câble pénètre.

Les valeurs de  $\delta_a$ ,  $\delta_b$  et  $\delta_s$  seront déterminées par l'exploitant du réseau ou par le propriétaire de l'installation. Si cette détermination n'est pas possible, des valeurs représentatives sont proposées dans l'Appendice II. La valeur maximale de la probabilité d'endommagement acceptable ( $R_t$ ) spécifiée dans la présente Recommandation est  $R_t = 10^{-3}$ .

Si la probabilité d'endommagement est supérieure à la probabilité d'endommagement acceptable ( $R_p > R_t$ ), des mesures de protection additionnelles doivent être prises afin de diminuer  $F_p$ . Une procédure d'évaluation de  $F_p$  est présentée dans les sous-paragraphes ci-après.

## 5.2 Fréquence d'endommagement des câbles

La fréquence d'endommagement des câbles aériens et enterrés ( $F_{pa}$  et  $F_{pb}$ ) peut être calculée au moyen des formules suivantes:

$$F_{pa} = 2N_g L D p(I_a)K_e 10^{-3} \quad [\text{dommages/an}] \quad (2)$$

$$F_{pb} = 2N_g L D p(I_a)K_e K_d 10^{-3} \quad [\text{dommages/an}] \quad (3)$$

où:

- L longueur de la ligne [km]
- $p(I_a)$  facteur de probabilité de courant (voir § 5.4.2)
- $K_e$  facteur environnemental (voir § 5.4.3)
- $N_g$  densité d'impacts de foudre au sol [ $\text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ ] (voir § 5.4.1)
- D distance d'amorçage [m] (voir § 5.4.4)
- $I_a$  courant de défaillance [kA] (voir paragraphe 6)
- $K_d$  facteur de correction pour les dommages (voir § 5.4.5)

## 5.3 Fréquence des dommages causés aux structures d'entrée des câbles

Le courant résultant d'un impact direct de la foudre sur une structure exposée s'écoule par le système de mise à la terre de cette structure et par les conduits métalliques de service entrant dans celle-ci. Une partie du courant de foudre pénètre donc dans la connexion et dans la gaine du câble de télécommunication. Ce courant peut endommager le câble de télécommunication. La fréquence des dommages causés aux structures ( $F_{ps}$ ) peut être estimée au moyen de l'équation suivante:

$$F_{ps} = N_g \cdot A_d \cdot p(I_a) \quad (4)$$

où:

$A_d$  est l'aire de collecte des impacts directs de la foudre sur la structure. Pour une structure située à distance d'autres structures hautes, sur sol plat et jusqu'à une hauteur de 60 m, la surface  $A_d$  peut être calculée au moyen de l'équation (5) suivante:

$$A_d = (a \cdot b + 6h \cdot a + 6h \cdot b + 9\pi h^2) 10^{-6} \quad [\text{km}^2] \quad (5)$$

a = longueur [m]

b = largeur [m]

h = hauteur [m]

## 5.4 Paramètres d'évaluation de la fréquence des dommages

### 5.4.1 Densité d'impacts de foudre au sol ( $N_g$ )

La densité d'impacts de foudre au sol ( $N_g$ ) est le nombre moyen d'impacts de la foudre au sol par kilomètre carré et par an. Dans certains pays, la densité  $N_g$  est mesurée directement au moyen de systèmes de détection de foudre, de sorte que ces informations sont données avec une précision relative. S'il n'y a pas de données sur la densité  $N_g$ , celle-ci peut être estimée par l'équation suivante:

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} \quad [\text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}] \quad (6)$$

Dans l'équation (6),  $T_d$  est le niveau kéraunique. Les valeurs de  $T_d$  sont habituellement extraites de cartes de niveaux isokérauniques.

#### 5.4.2 Facteur de probabilité de courant ( $p(i)$ )

Le facteur de probabilité de courant est la distribution cumulative des probabilités d'occurrence de courants de foudre ( $p(i)$ ), conformément à l'équation (7):

$$p(i) = 10^{-2} e^{(a-bi)} \quad \text{pour } i \geq 0 \quad (7)$$

où:

$i$	est l'intensité du courant de foudre crête [kA]		
$a = 4,605$	et	$b = 0,0117$	pour $i \leq 20$ kA
$a = 5,063$	et	$b = 0,0346$	pour $i > 20$ kA

#### 5.4.3 Facteur environnemental ( $K_e$ )

Lorsque les lignes de télécommunication sont installées en zone urbaine, elles sont habituellement protégées contre les effets directs de la foudre par l'écran que constituent les bâtiments. Par conséquent, on définit un facteur environnemental ( $K_e$ ) permettant de tenir compte de cet effet d'écran comme suit:

- $K_e = 0$  pour une zone non exposée;
- $K_e = 1$  pour une zone exposée.

L'exploitant de réseau ou le propriétaire de l'installation devra évaluer la valeur du facteur environnemental ( $K_e$ ) pour la section de ligne considérée. Afin de faciliter cette évaluation, il est suggéré, dans la présente Recommandation, de considérer qu'une zone urbaine correspond à un environnement non exposé et qu'une zone rurale correspond à un environnement exposé. Une méthode expérimentale d'évaluation du facteur  $K_e$  est donnée dans la Rec. UIT-T K.46 [1].

#### 5.4.4 Distance d'amorçage (D)

##### a) Câbles enterrés

Pour les câbles enterrés, la distance d'amorçage est calculée en fonction de la résistivité du sol, comme suit:

$$D = 0,482(\rho)^{1/2} \quad \text{pour } \rho \leq 100 \Omega.m \quad (8)$$

$$D = 2,91 + 0,191(\rho)^{1/2} \quad \text{pour } 100 \Omega.m < \rho < 1000 \Omega.m$$

$$D = 0,283(\rho)^{1/2} \quad \text{pour } \rho \geq 1000 \Omega.m$$

##### b) Câbles aériens

Pour les câbles aériens, la distance d'amorçage est donnée par l'équation suivante:

$$D = 3H [m] \quad (9)$$

où:

$H$  est la hauteur de la ligne en mètres qui doit se situer entre 4 et 15 m

### 5.4.5 Facteur de correction pour les dommages ( $K_d$ )

Les valeurs suivantes de facteur de correction pour les dommages seront prises en compte:

- $K_d = 2,5$  pour un câble enterré non blindé;
- $K_d = 1,0$  pour un câble enterré blindé.

## 6 Détermination du courant de défaillance ( $I_a$ )

### 6.1 Foudre tombant sur des câbles

Pour des câbles non blindés, le courant de défaillance est considéré comme étant nul dans la mesure où la foudre tombant directement sur le câble produit un dommage. Pour des câbles blindés, le courant de défaillance ( $I_a$ ) est la valeur la plus faible des valeurs suivantes:

- le courant d'épreuve ( $I_t$ );
- deux fois le courant de claquage de gaine ( $I_s$ ), évalué au moyen de la procédure détaillée à l'Annexe A.

Pour des câbles de télécommunication types à enveloppe en plomb, la valeur du courant d'épreuve est de 40 kA, alors que, pour des câbles de télécommunication types à enveloppe en aluminium, cette valeur est de 20 kA. S'il apparaît que ces valeurs ne sont pas applicables à un modèle de câble donné, les essais décrits dans l'Appendice I seront utilisés pour évaluer le courant d'épreuve.

### 6.2 Foudre tombant sur des structures d'entrée du câble

Dans ce cas, le courant d'épreuve ( $I_a$ ) est donné par la formule:

$$I_a = 2nI_s \quad (10)$$

où:

$n$  est le nombre de conduites métalliques de service pénétrant dans la structure (télécommunications, électricité, eau);

$I_s$  est le courant de claquage de gaine évalué comme suit:

- pour des câbles non blindés,  $I_s = 0$ ;
- pour des câbles blindés,  $I_s$  est calculé au moyen de la procédure indiquée dans l'Annexe A.

NOTE – Considérer que  $I_s = 0$  pour des câbles non blindés est une simplification (prudente) au regard de la Norme CEI 61663-2 [4].

## 7 Procédures de protection

La gaine métallique d'un câble de télécommunication doit présenter une continuité électrique sur toute la longueur de la ligne, c'est-à-dire qu'elle doit être connectée de part et d'autre de toutes les épissures, de tous les régénérateurs, etc. Elle doit être connectée à la barre d'équipotentialité située aux extrémités du câble, soit directement soit par l'intermédiaire d'un parafoudre.

Lors de l'évaluation de la fréquence des dommages ( $F_p$ ), il importe d'identifier les sections de ligne qui sont plus représentatives de la valeur de  $F_p$ , afin d'y concentrer les efforts de protection. L'application de mesures de protection réduit la fréquence des dommages d'un facteur égal au facteur de protection ( $K_p$ ), comme suit:

$$F'_p = F_p \cdot K_p \quad (11)$$

où:

$F'_p$  est la fréquence des dommages après application de la procédure de protection;

$F_p$  est la fréquence des dommages avant application de la procédure de protection;

De nombreuses mesures de protection réduisent la fréquence des dommages en augmentant le courant de défaillance. Dans ce cas, le facteur de protection est donné par:

$$K_p = \exp[b_1(I_a - I'_a)] \quad \text{pour } I_a \text{ et } I'_a \leq 20 \text{ kA} \quad (12)$$

$$K_p = \exp[b_2(I_a - I'_a)] \quad \text{pour } I_a \text{ et } I'_a > 20 \text{ kA}$$

$$K_p = \exp[(a_2 - a_1) + (b_1 I_a - b_2 I'_a)] \quad \text{pour } I_a \leq 20 \text{ kA et } I'_a > 20 \text{ kA}$$

où:

$I'_a$  est le courant de défaillance après application de la procédure de protection;

$I_a$  est le courant de défaillance avant application de la procédure de protection;

$$a_1 = 4,605;$$

$$a_2 = 5,063;$$

$$b_1 = 0,0117;$$

$$b_2 = 0,0346.$$

## 7.1 Choix de l'environnement

Lors de la conception d'une ligne de télécommunication, il est possible de sélectionner le cheminement du câble afin de limiter son exposition à la foudre. Si l'on prend à titre de référence une ligne rurale sur terrain plat, les facteurs de protection suivants peuvent être obtenus en fonction du cheminement du câble:

- $K_p = 0,25$  pour une ligne aérienne entourée de structures d'une hauteur égale ou supérieure à celle-ci (lignes électriques, arbres, etc.);
- $K_p = 0,50$  pour une ligne aérienne entourée par des structures moins élevées;
- $K_p = 2,0$  pour une ligne installée sur le sommet d'une colline ou sur une petite colline.

NOTE – Dans la norme CEI 61633-2 [4] l'influence des structures voisines et des collines sur la fréquence de la foudre touchant les lignes de télécommunication est représentée par le coefficient environnemental ( $C_e$ ).

## 7.2 Choix du câble

### 7.2.1 Câble diélectrique à fibres optiques

Un câble diélectrique à fibres optiques n'est pas directement frappé par la foudre. Son utilisation fournit, par conséquent, un facteur de protection de  $K_p = 0$ .

### 7.2.2 Câble à fort courant de claquage de gaine

Si le courant de défaillance ( $I_a$ ) est déterminé par le courant de claquage de gaine ( $I_s$ ), il est possible de concevoir le câble présentant une valeur  $I_s$  plus élevée en:

- augmentant la tension de claquage de gaine en choisissant, par exemple, une isolation en matière plastique plutôt qu'en papier ou en améliorant l'isolation au niveau des épissures;
- réduisant la résistance de la gaine en utilisant une gaine métallique plus épaisse, par exemple.

Pour assurer une protection contre des effets directs de la foudre sur la ligne de télécommunication, le courant de claquage de la gaine ne doit pas être porté à une valeur supérieure au courant d'épreuve.

Le facteur de protection résultant de l'augmentation du courant de défaillance est donné par l'équation (12).

### 7.2.3 Câble à haute tension de claquage de gaine

Si le courant de défaillance ( $I_a$ ) est déterminé par le courant d'épreuve ( $I_t$ ), il est possible de concevoir un câble présentant une valeur  $I_t$  plus élevée en:

- utilisant une gaine ayant une résistance mécanique plus élevée (par exemple en fer);
- utilisant une gaine métallique plus épaisse.

Pour assurer une protection contre les effets directs de la foudre sur la ligne de télécommunication, le courant d'épreuve ne doit pas être porté à une valeur supérieure au courant de claquage de la gaine.

Le facteur de protection résultant de l'augmentation du courant de défaillance est donné par l'équation (12).

## 7.3 Installation souterraine ou aérienne

Les câbles aériens sont plus exposés à la foudre que les câbles souterrains. Pour des résistivités du sol comprises entre 100 et 1000  $\Omega.m$  et une hauteur de ligne de 5 m, la foudre tombera sur une ligne aérienne entre 3 et 1,7 fois plus souvent que sur une ligne enterrée. Néanmoins, la valeur du courant de défaillance d'une installation souterraine peut être supérieure ou inférieure à celle d'une installation aérienne en fonction des caractéristiques du câble. Il faut également tenir compte du fait que le délai de réparation des défaillances dans des câbles enterrés est plus long que celui des câbles aériens, ce qui revient à dire que le manque à gagner relatif par endommagement peut compenser une réduction de la fréquence prévue d'endommagements due à l'enterrement du câble. La décision d'enterrer le câble pour le protéger contre les effets directs de la foudre doit être prise en tenant compte des caractéristiques spécifiques de ce câble. Ceci peut se faire en calculant puis en comparant le risque d'endommagement ( $R_p$ ) d'une installation aérienne et enterrée en utilisant les procédures décrites dans la présente Recommandation.

## 7.4 Utilisation des parafoudres (SPD)

Des parafoudres (SPD) peuvent être placés au point de pénétration du câble dans une structure exposée aux effets directs de la foudre afin de réduire sa fréquence d'endommagement ( $F_{ps}$ ). Ces parafoudres doivent être conformes à la Rec. UIT-T K.12 [3] et doivent être connectés entre les conducteurs du câble et la barre d'équipotentialité de la structure. Si le câble est blindé, son blindage doit être relié à la barre d'équipotentialité. Si le câble n'est pas blindé, le dispositif doit être installé dans un conduit métallique enfoui dans le sol qui sera connecté à la barre d'équipotentialité.

La longueur de la section blindée enterrée (câble blindé ou non dans un conduit métallique) à l'extérieur de la structure est donnée par la formule:

$$2,5\rho^{1/2} \leq L_p \leq 8\rho^{1/2} \quad (13)$$

où  $\rho$  est la résistivité du sol en  $\Omega.m$ .

NOTE – La protection est d'autant plus grande que la longueur de la section est grande.

A une distance  $L_p$  de la structure, un autre ensemble de dispositifs SPD doit être installé entre les conducteurs et la gaine du câble (ou le conduit métallique).

L'installation d'un parafoudre SPD conformément à la description donnée dans le présent paragraphe augmentera le courant de claquage de gaine. La nouvelle valeur  $I_s$  est donnée par la formule:

$$I_s = 8 \cdot S_c \cdot \left( m + \frac{R_c}{R} \right) \quad (14)$$

où:

$m$  est le nombre de conducteurs du câble;

$S_c$  est la surface de la section droite du conducteur [ $mm^2$ ];

$R_c$  est la résistance linéique du conducteur [ $\Omega/km$ ];

$R$  est la résistance linéique de la gaine (ou du conduit métallique) [ $\Omega/km$ ].

Le facteur de protection résultant de l'augmentation de l'intensité  $I_s$  est donné par les équations (10) et (12).

## 7.5 Blindage

Afin de limiter le courant pénétrant dans la gaine du câble, il est possible d'installer des fils d'écran parallèles au câble, de façon que le courant se répartisse entre le câble et ces fils. Les fils écran augmentent la valeur du courant de défaillance ( $I_a$ ) et, par conséquent, réduisent la fréquence des dommages. La nouvelle valeur du courant de défaillance ( $I'_a$ ) est donnée par la formule:

$$I'_a = \frac{I_a}{\eta} \quad (15)$$

où  $\eta$  est le facteur d'écran. Le facteur de protection ( $K_d$ ) obtenu par l'utilisation de fils écran est donné par les équations (15) et (12).

Des valeurs de facteurs d'écran correspondant à différentes configurations de fils écran sont indiquées dans la Rec. UIT-T K.25 [2]. Des valeurs approchées de facteur de protection, conformes à la Norme CEI 61663-2 (4), sont:

- $K_p = 0,6$  pour un fil écran
- $K_p = 0,4$  pour deux fils écran
- $K_p = 0,01$  pour un tube en acier

## 7.6 Redondance de cheminement

Pour réduire le risque d'endommagement, il est possible d'installer deux lignes de façon que la probabilité qu'elles subissent toutes les deux simultanément des dommages soit très faible. Par une sélection adéquate de l'espacement des lignes, il est possible d'éviter que la foudre endommage simultanément les deux lignes. Un espacement minimal de 30 m ou de 50 m pour, selon le cas, une résistivité du sol de 100  $\Omega.m$  ou de 1000  $\Omega.m$ , est suffisant pour des câbles enterrés ou aériens. Si les

lignes sont séparées de façon que la probabilité que la foudre atteigne simultanément les deux lignes soit négligeable, il reste possible que les deux lignes subissent des dommages au court d'un bref intervalle de temps, de sorte que l'équipe de maintenance ne soit pas susceptible de réparer la première ligne défaillante avant la défaillance de la seconde. Cette situation peut se produire au cours du même orage. Elle déterminera la probabilité d'endommagement pour les cheminements redondants.

## ANNEXE A

### Evaluation du courant de claquage de gaine

La procédure décrite dans la présente annexe s'applique aux câbles dotés d'une seule gaine métallique. Pour les câbles de télécommunication courants, l'on prend en considération les valeurs de tension de claquage suivantes:

- câbles à isolation papier:  $U_b = 1,5 \text{ kV}$ ;
- câbles à isolation plastique:  $U_b = 5 \text{ kV}$ .

S'il apparaît que ces valeurs ne sont pas applicables à un modèle de câble donné, les essais décrits dans l'Appendice I seront utilisés pour évaluer la tension de claquage.

#### A.1 Câble enterré

Le courant de claquage de gaine ( $I_s$ ) d'un câble à gaine métallique, avec ou sans revêtement de protection isolant, peut être estimé par l'équation suivante:

$$I_s = \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho^{1/2}} \quad [kA] \quad (\text{A-1})$$

où:

- |         |  |
|---------|--|
| $K = 8$ | est le facteur de forme d'onde du courant de foudre $[(m/\Omega)^{0,5}]$ |
| $R$     | est la résistance linéique de la gaine $[\Omega/km]$                     |
| $U_b$   | est la tension de claquage du câble $[V]$                                |
| $\rho$  | est la résistivité du sol $[\Omega.m]$                                   |

#### A.2 Câble aérien

Le courant de claquage de gaine ( $I_s$ ) est calculé au moyen de la formule suivante:

$$I_s = \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho_e^{1/2}} \quad (\text{A-2})$$

$\rho_e$  est la résistivité équivalente du sol en  $\Omega.m$ , définie comme suit:

$$\rho_e = \frac{\pi \cdot d \cdot R_g}{\ln\left(2 \cdot \frac{H}{a}\right)} \quad (\text{A-3})$$

où:

- $d$  est l'espacement des prises de terre exprimé en mètres (on suppose que la distance  $d$  est courte pour que les courants réfléchis s'écoulent bien avant que la valeur de crête de la tension ou de l'intensité soit atteinte);



- H est la hauteur du câble en mètres;  
a est le rayon du câble en mètres;  
R<sub>g</sub> est la résistance des prises de terre en ohms.

## APPENDICE I

### Essais d'évaluation de l'immunité des câbles aux surtensions

Ces essais, destinés à évaluer l'immunité à la foudre des câbles métalliques, ne sont pas applicables à l'homologation d'un modèle de câble. Sous la responsabilité du constructeur du câble, les résultats d'essais effectués sur un type de câble peuvent être utilisés pour un autre câble ayant des caractéristiques analogues en termes de structure.

L'essai de claquage doit être effectué avec un générateur d'ondes de choc produisant une tension en circuit ouvert ayant une forme d'onde double exponentielle de 1,2/50  $\mu$ s. Le générateur de courant pour l'essai d'immunité aux surintensités des câbles est à l'étude. Les formes d'onde de courant suivantes, mesurées avec l'échantillon en place, sont suggérées:

- onde exponentielle double ayant un temps de montée de 10  $\mu$ s et un temps de descente jusqu'à mi-valeur de 350  $\mu$ s;
- onde à oscillations amorties avec une valeur maximale de durée jusqu'à la crête de 15  $\mu$ s et une fréquence maximale de 30 kHz. La durée jusqu'à la mi-hauteur de son enveloppe doit être comprise entre 40  $\mu$ s et 70  $\mu$ s.

#### I.1 Tension de claquage ( $U_b$ )

Un échantillon de câble d'une longueur de 5 m est utilisé pour cet essai. Les éléments conducteurs à l'intérieur de l'âme isolée du câble doivent être reliés électriquement entre eux de façon à former une borne unique. Une autre borne est formée par la gaine métallique découplée des autres éléments conducteurs. L'extrémité de la gaine doit être traitée de façon à reproduire, aussi fidèlement que possible, les conditions d'installation réelle. Le générateur de surtensions est relié aux deux bornes. La tension d'épreuve est mesurée au cours de l'essai. Après l'application de tensions d'épreuve par échelons croissants en amplitude, l'essai permet de déterminer un seuil de tension de choc ( $U_b$ ) provoquant un claquage.

#### I.2 Courant d'épreuve ( $I_t$ ) pour câbles enterrés

Un échantillon de câble de 1 m de longueur est enterré dans du sable humide contenu dans un bac rigide non conducteur, dont les dimensions internes sont d'au moins 0,75 m. Ce bac doit comporter deux orifices inférieurs pour l'écoulement de l'eau, d'environ 25 mm de diamètre. Le sable doit être en silice et présenter une granulométrie de 20 à 40. Il doit être totalement saturé en eau pendant une durée maximale de 8 h puis drainé pendant au moins cinq minutes avant les essais. L'échantillon de câble est placé dans le bac d'essai et le sable mouillé est tassé autour du câble. La teneur en humidité du sable dans son volume le plus critique est de 15%. Une électrode de décharge doit être placée près du centre du bac à sable, à une distance de  $26 \pm 1$  mm de l'échantillon. Tous les éléments conducteurs situés à l'extrémité du câble doivent être reliés électriquement les uns aux autres de façon à former une seule borne et un générateur de courant doit être connecté entre cette borne et l'électrode de décharge. Pour permettre au courant d'épreuve de passer dans l'échantillon, tout revêtement isolant éventuel sur la gaine métallique extérieure doit être ouvert avec un outil de 1 mm de diamètre de façon à former une petite entaille ou un trou en face de l'électrode de décharge. Si la tension du générateur d'essai ne permet pas l'amorçage dans l'intervalle d'air, il faut placer un fil fin reliant l'électrode de décharge à la gaine métallique. Après l'application de courants de décharge par échelons croissants en amplitude, l'échantillon est soumis à un contrôle de continuité des éléments

métalliques et de résistance d'isolement entre ces éléments. Cet essai détermine un seuil de surtension provoquant une défaillance primaire. Cette valeur est le courant d'épreuve ( $I_t$ ).

### **I.3 Courant d'épreuve ( $I_t$ ) pour câbles aériens**

Un échantillon de câble de 1 m de longueur est tendu conformément aux spécifications du constructeur. Une électrode de décharge est placée près de l'échantillon, à une distance de  $26 \pm 1$  mm. Tous les éléments conducteurs contenus dans le câble doivent être reliés électriquement de façon à former une seule borne et un générateur de courant est connecté entre cette borne et l'électrode de décharge. Pour permettre au courant d'épreuve de passer dans l'échantillon, tout revêtement isolant éventuel sur la gaine métallique extérieure doit être ouvert avec un outil de 1 mm de diamètre de façon à former une petite entaille ou un trou en face de l'électrode de décharge. Si la tension du générateur d'essai ne permet pas l'amorçage dans l'intervalle d'air, il faut placer un fil fin reliant l'électrode de décharge à la gaine métallique. Le courant d'épreuve doit être mesuré pendant l'essai. Après l'application de courants de décharge par échelons croissants en amplitude, l'échantillon est soumis à un contrôle de continuité des éléments métalliques et de résistance d'isolement entre ces éléments. Cet essai détermine un seuil de surintensité provoquant un endommagement. Cette valeur est le courant d'épreuve ( $I_t$ ).

## APPENDICE II

### **Probabilité d'interruption du service due à des dommages ( $\delta$ )**

Les dommages provoqués par la foudre sur une installation de télécommunication peuvent se traduire par une interruption inacceptable des services fournis au public. Dans ce cas, la décision d'appliquer ou non des mesures de protection doit être prise sur la base d'une comparaison entre la valeur de la probabilité d'endommagement ( $R_p$ ) de l'installation et la valeur de la probabilité d'endommagement tolérable ( $R_t$ ). La valeur de  $R_p$  est calculée au moyen de l'équation (1) qui s'appuie sur la valeur relative de la probabilité d'interruption du service due à des dommages.

Les valeurs suivantes de probabilité d'interruption du service due à des dommages sont suggérées (d'après la Norme CEI 61663-2 (4)):

$$\delta_a = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ (foudre tombant directement sur des lignes aériennes)}$$

$$\delta_b = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ (foudre tombant directement sur des lignes enterrées)}$$

$$\delta_s = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ (foudre tombant directement sur des structures)}$$



## 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 et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication