

Remplacée par une version plus récente



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.25

(05/96)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

Protection des câbles à fibres optiques

Recommandation UIT-T K.25

Remplacée par une version plus récente

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

Remplacée par une version plus récente

AVANT-PROPOS

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

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

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

La Recommandation révisée UIT-T K.25, que l'on doit à la Commission d'études 5 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvée le 8 mai 1996 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

NOTES

1. Dans la présente Recommandation, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue de télécommunications.
2. Les annexes et appendices des Recommandations de la série K ont le statut suivant:
 - une *annexe* fait partie intégrante de la Recommandation;
 - un *appendice* ne fait pas partie intégrante de la Recommandation et ne fournit que des informations ou explications complémentaires propres à cette Recommandation.

© UIT 1997

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

Remplacée par une version plus récente

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1	Domaine d'application et objet..... 1
2	Références..... 1
3	Définitions 1
4	Configuration de référence..... 3
5	Caractéristiques de structure du câble et essai de résistance aux surintensités..... 3
5.1	Caractéristiques de structure du câble 3
5.2	Essai de résistance aux surintensités..... 8
6	Nécessité de la protection 10
6.1	Généralités..... 10
6.2	Fréquence des défaillances primaires ou taux annuel de dommages pour les câbles enterrés 10
6.3	Fréquence des défaillances primaires ou taux annuel de dommages pour les câbles aériens 12
6.4	Fréquence des défaillances primaires dues aux impacts directs de foudre frappant la structure exposée dans laquelle entre le câble à fibres optiques..... 12
7	Mesures de protection..... 13
7.1	Généralités..... 13
7.2	Câbles diélectriques ou sans métal 13
7.3	Choix des caractéristiques du câble utilisé à la fois pour les installations enterrées et aériennes..... 14
7.4	Utilisation d'un fil écran pour les câbles enterrés 14
7.5	Redondance d'itinéraires..... 14
Appendice I – Valeurs du facteur de blindage 15	
I.1	Définition du facteur de blindage 15
I.2	Facteur de blindage avec un fil écran 15
I.3	Facteur d'écran avec deux fils écran disposés d'une manière symétrique par rapport à l'axe du câble 16
I.4	Exemple d'application 17
Appendice II – Fréquence acceptable de défaillances primaires (N_a)..... 17	

Remplacée par une version plus récente

Recommandation K.25

PROTECTION DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES

(Melbourne, 1988, révisée en 1996)

1 Domaine d'application et objet

Le domaine d'application de la présente Recommandation est la protection des lignes de télécommunication des installations à fibres optiques contre la foudre.

L'objet de la présente Recommandation est de limiter le nombre de défaillances primaires possibles (3.1) se manifestant sur le câble à fibres optiques dans une installation donnée à des valeurs égales ou inférieures à la valeur limite définie comme la fréquence acceptable de défaillances primaires (3.5).

En conséquence, la présente Recommandation fournit une méthode permettant à la fois de calculer le nombre possible de défaillances primaires et de choisir les mesures de protection réalisables.

L'Appendice II donne une indication de la fréquence de défaillances primaires acceptée.

La présente Recommandation ne traite pas des défaillances secondaires (3.2).

2 Références

Les Recommandations et autres références suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Recommandation. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute Recommandation ou autre référence est sujette à révision; tous les utilisateurs de la présente Recommandation sont donc invités à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des Recommandations et autres références indiquées ci-après. Une liste des Recommandations UIT-T en vigueur est publiée régulièrement.

- [1] *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre. Chapitre 9: estimation des dommages causés par la foudre à des câbles à fibres optiques*, UIT, 1994.
- [2] *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, 1974 et 1978.
- [3] Recommandation K.29 du CCITT (1992), *Dispositions de protection coordonnée pour les câbles de télécommunication souterrains*.
- [4] UNGAR (S.G.): Effects of lightning punctures on the core-shield voltage of buried cable, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 59, n° 3, mars 1980.
- [5] Recommandation UIT-T K.11 (1993), *Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités*.
- [6] SUNDE (E.): Earth conduction effects in transmission system, *Dover Publications, Inc.*, New York.
- [7] BENDAYAN (J.): Câbles résistant aux dommages causés par la foudre, *Câbles et transmission*, octobre 1972.
- [8] Recommandation UIT-T K.39 (1996), *Evaluation des risques de dégradations des installations de télécommunication dus à la foudre*.

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Recommandation, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 défaillances primaires: les défaillances primaires d'un câble à fibres optiques sont celles qui causent une interruption du service (rupture d'une ou de plusieurs fibres optiques), un accroissement inacceptable de l'atténuation de la fibre optique ou une interruption de l'alimentation électrique à distance dans le cas où l'équipement est alimenté par des conducteurs métalliques situés à l'intérieur du câble optique.

Remplacée par une version plus récente

Les défaillances primaires correspondent également à des dommages subis par le câble, tels que la destruction de la gaine protectrice, du pare-vapeur, d'éléments d'interconnexion ou du gel de remplissage qui, à cause des autres phénomènes agissant au point endommagé, entraîneront un accroissement inacceptable de l'atténuation de la fibre optique.

3.2 défaillances secondaires: les défaillances secondaires du câble à fibres optiques sont celles qui résultent de dommages au câble, tels que les défauts ponctuels de la gaine plastique (phénomène de piqûre), ou de l'enveloppe métallique lorsqu'il y en a une, et qui n'entraînent pas de défaillances primaires.

3.3 fréquence des défaillances primaires (N_p) et taux annuel de dommages (ADR) (*annual damage rate*): moyenne annuelle prévue du nombre de défaillances primaires d'une installation optique dues à un impact direct de la foudre.

3.4 taux de défaillances primaires (R_d): espérance mathématique annuelle du taux d'indisponibilité de l'installation optique en raison d'éclairs de foudre directs.

3.5 fréquence acceptable des défaillances primaires (N_a): valeur maximale de la fréquence annuelle moyenne prévue de défaillances primaires pour une installation à fibres optiques n'exigeant pas de mesures de protection supplémentaires contre les impacts directs de foudre.

3.6 taux acceptable de défaillances primaires (R_a): niveau maximal accepté du taux de défaillances primaires (R_d) dues aux impacts directs de foudre.

3.7 impact direct de foudre: foudre frappant un câble aérien ou le sol à une distance du câble enterré inférieure à la distance équivalente D d'amorçage de l'arc.

3.8 fréquence des impacts directs de foudre (N_d): espérance mathématique annuelle du nombre d'éclairs frappant directement une installation à fibres optiques.

3.9 distance d'amorçage équivalente (D): distance moyenne à partir de laquelle un arc peut s'amorcer entre le point d'impact de la foudre et le câble enterré.

3.10 courant céramique de défaillance (I_a): valeur minimale du courant céramique de crête qui induit un arc direct sur le câble et cause des défaillances primaires.

3.11 courant de gaine de claquage (I_s): valeur du courant s'écoulant dans la gaine métallique qui induit des tensions de claquage entre les éléments métalliques situés dans l'âme du câble et la gaine métallique.

3.12 courant de connexion (I_c): valeur minimale du courant de gaine qui provoque des défaillances primaires, évalué par le test de résistance des éléments d'interconnexion aux surintensités (5.2.1).

3.13 éléments d'interconnexion: éléments métalliques reliant les parties métalliques d'un câble à fibres optiques au niveau des raccordements et des têtes de câble.

3.14 courant de test (I_t): courant provoquant des défaillances primaires, évalué à l'aide de l'essai de résistance aux surintensités indiqué dans 5.2.2 et 5.2.3 respectivement pour les câbles enterrés et aériens.

3.15 courant d'impulsion (I_p): courant à utiliser pour l'essai de résistance des câbles à fibres optiques aux surintensités. Le générateur d'essai de ce courant est actuellement examiné par le Comité d'études (CE) 81 de la CEI.

NOTE – En attendant la décision du Comité d'études (CE) 81 de la CEI concernant le générateur d'essai, on trouvera ci-après des informations sur les courants d'essai utilisés dans certains pays:

- un courant représenté par une exponentielle double, ayant un temps de montée de 10 μ s et une durée de décroissance à mi-valeur de 350 μ s (signal de 10/350 μ s);
- un courant correspondant à une oscillation amortie avec une valeur maximale d'établissement de la crête de 15 μ s et une fréquence maximale de 30 kHz. La durée de la moitié de l'enveloppe de la forme d'onde est comprise entre 40 et 70 μ s. Ces valeurs s'appliquent aux formes d'onde mesurées à l'aide de l'échantillon d'essai mis en place.

3.16 tension de claquage (U_b): tension impulsive de claquage entre les composants métalliques et la gaine du câble optique.

3.17 facteur de sécurité de protection (K_d): facteur de sécurité permettant une évaluation prudente de la fréquence des défaillances primaires.

3.18 dispositif de protection contre les surtensions (SPD) (*surge protective device*): dispositif de protection prévu pour limiter les surtensions transitoires et évacuer les surintensités. Il contient au moins un élément non linéaire.

3.19 courant céramique direct pour des câbles aériens (J): courant minimal induit par la foudre frappant un câble aérien et entraînant un arc avec la terre.

Remplacée par une version plus récente

4 Configuration de référence

La Figure 1 donne la configuration de référence pour les installations à fibres optiques, dans laquelle on peut voir les connexions à fibres optiques entre deux centraux (E), entre un central et un abonné (S) ainsi qu'entre un central et un équipement de ligne (M).

NOTE – Les spécifications de la Recommandation K.11 «Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités» [5] seront prises en considération pour la protection contre la foudre de l'installation en câbles métalliques reliant l'abonné à l'équipement de ligne.

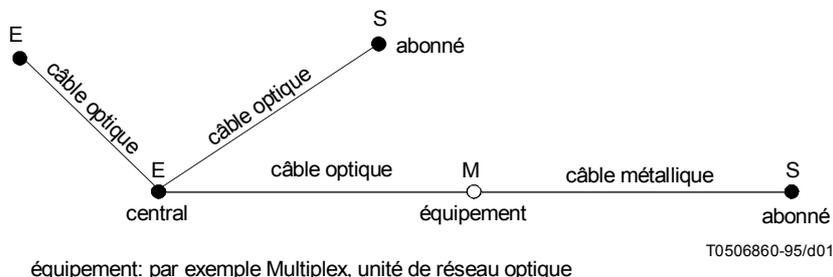


FIGURE 1/K.25
Configuration de référence

5 Caractéristiques de structure du câble et essai de résistance aux surintensités

5.1 Caractéristiques de structure du câble

La présente Recommandation s'applique aux types suivants de câbles optiques:

- câble diélectrique ou non métallique: le câble ne comporte pas d'éléments métalliques;
- câble à âme diélectrique comportant une ou plusieurs gaines métalliques: l'âme du câble ne contient pas d'éléments métalliques mais le câble comporte une gaine métallique (par exemple le pare-vapeur) ou un fil porteur métallique;
- câble dont l'âme contient des éléments métalliques et pouvant comporter une ou plusieurs gaines métalliques: il existe des éléments métalliques, tels que des conducteurs ou des éléments de renfort, dans l'âme du câble, qui possède une ou plusieurs gaines métalliques.

La valeur possible du courant kéraunique de défaillance I_a sera évaluée pour chaque type de câble, sauf pour le câble entièrement diélectrique.

Le courant I_a est égal à la plus petite des valeurs suivantes (Figure 2):

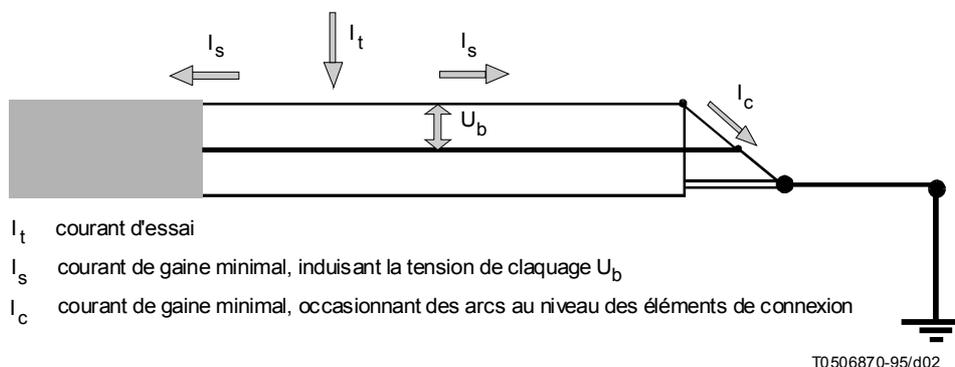


FIGURE 2/K.25
Courants de connexion I_c et de gaine I_s

Remplacée par une version plus récente

a) câbles enterrés

- le double du courant de connexion I_c , évalué au moyen de l'essai de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion (5.2.2);
- le courant d'essai I_t , évalué au moyen de l'essai de résistance aux surintensités décrit dans 5.2.3 pour les câbles enterrés [2];
- le double du courant de claquage de la gaine, I_s , s'écoulant dans la gaine du câble, qui crée une tension de claquage entre les éléments métalliques à l'intérieur du cœur du câble et la gaine métallique. La valeur du courant de gaine, I_s , d'un câble dont le cœur contient des éléments métalliques et qui possède une ou plusieurs gaines métalliques, avec ou sans revêtement de protection isolant, peut être estimée au moyen de la formule suivante:

$$I_s \cong U_b / (K \cdot R \cdot \sqrt{\rho}) \quad [\text{kA}] \quad (1)$$

avec:

$K = 8$ facteur de forme du courant kéraunique (forme d'onde 10/350 μs) $[(\text{m}/\Omega)^{0,5}]$

R résistance de la gaine par unité de longueur $[\Omega/\text{km}]$

U_b tension de claquage $[\text{V}]$ du câble à fibres optiques, évaluée au moyen de l'essai mentionné au 5.2.1

ρ résistivité du sol $(\Omega \cdot \text{m})$

b) câbles aériens

- le double du courant de connexion I_c , évalué au moyen du test de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion (5.2.2);
- le courant d'essai I_t , évalué au moyen du test de résistance aux surintensités décrit dans 5.2.4 pour les câbles aériens [2];

b1) câbles aériens sans connexion de la gaine métallique à la terre

- le courant kéraunique direct J (3.19) qui affecte le câble aérien et qui, en conséquence, est à l'origine d'une tension d'arc au niveau d'un support. Ce courant est constitué en grande partie du courant kéraunique transmis au sol et d'un courant de claquage de la gaine I_s .

Le courant de claquage de la gaine I_s est évalué comme suit (en faisant l'hypothèse d'un câble long) [6]:

$$I_s \cong U_b / (250 K \cdot R) \quad [\text{kA}] \quad (2)$$

Le courant kéraunique J peut être estimé au moyen de la formule suivante [6]:

$$J = 4 I_s^2 / k \quad (3)$$

avec:

$$k = \rho E_0 / S^2$$

E_0 gradient de la tension de claquage de la surface du sol, approximativement égal à 250 kV/m pour $\rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m}$ et à 500 kV/m pour $\rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m}$

S impédance de pointe de la gaine métallique [1] et [6]

b2) câbles aériens avec connexions de la gaine métallique à la terre

- le double du courant de claquage de la gaine I_s , qui peut être estimé, dans le cas présent, au moyen de la formule suivante (en prenant pour hypothèse que le câble est long):

$$I_s \cong U_b / (K \cdot R \cdot \sqrt{\rho_e}) \quad (4)$$

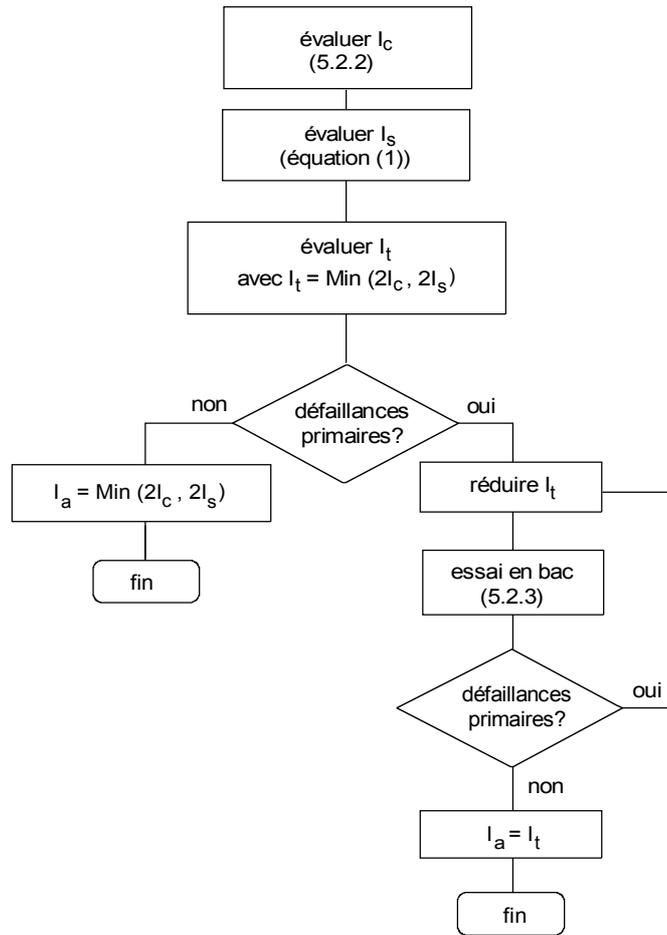
avec:

ρ_e résistivité effective de la terre en $\Omega \cdot \text{m}$, calculée à partir de l'équation (11) de [1].

Remplacée par une version plus récente

La procédure suivante est suggérée pour déterminer le courant céramique I_a causant une défaillance:

a) câbles enterrés (Figure 3)



T0506880-95/d03

FIGURE 3/K.25

Procédure de détermination du courant céramique de défaillance pour des câbles enterrés

- 1) évaluer le courant de connexion I_c et le courant de claquage I_s ;
- 2) utiliser la plus petite des valeurs $2I_c$ et $2I_s$ comme valeur de courant de crête pour l'essai décrit dans 5.2.3 pour les câbles enterrés [2]:

$$I_t = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_t = 2I_s$$

- 3) si aucune défaillance primaire ne se manifeste pendant l'essai décrit dans 5.2.3, le courant céramique de défaillance est la plus petite des valeurs $2I_c$ et $2I_s$:

$$I_a = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_a = 2I_s$$

si des défaillances primaires se manifestent pendant l'essai, le courant de crête I_t sera réduit afin de déterminer le courant de crête minimal qui provoque des défaillances primaires; la nouvelle valeur de I_t sera alors le courant céramique de défaillance:

$$I_a = I_t$$

Remplacée par une version plus récente

alors:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (5)$$

ou:

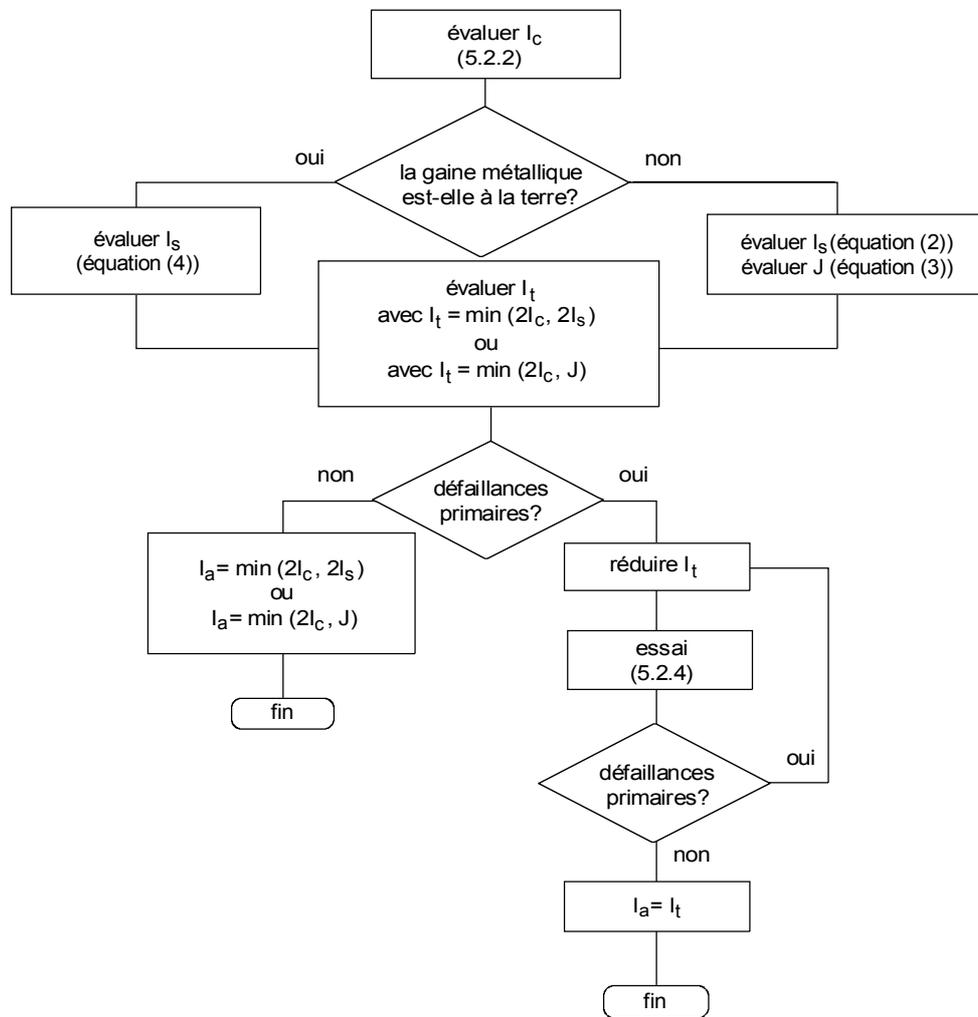
$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (6)$$

ou:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (7)$$

b) câbles aériens

b1) câbles aériens sans connexion de la gaine métallique à la terre (Figure 4)



T0506890-95/d04

FIGURE 4/K.25

Procédure de détermination du courant kéraunique de défaillance pour des câbles aériens

Remplacée par une version plus récente

- 1) évaluer le courant de connexion I_c et le courant de claquage I_s au moyen de l'équation (2);
- 2) utiliser la plus faible des valeurs $2I_c$ et J , J étant calculé au moyen de l'équation (3) comme valeur de crête de l'essai décrit dans 5.2.4 pour les câbles aériens:

$$I_t = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_t = J$$

- 3) si aucune défaillance primaire ne se manifeste pendant l'essai décrit dans 5.2.4, le courant kéraunique de défaillance est la plus petite des valeurs $2I_c$ et J :

$$I_a = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_a = J$$

si des défaillances primaires se manifestent pendant l'essai, le courant de crête I_t sera réduit afin de déterminer le courant de crête minimal qui provoque des défaillances primaires, la nouvelle valeur de I_t sera alors le courant kéraunique de défaillance:

$$I_a = I_t$$

alors:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < J; I_t < 2I_c \quad (8)$$

ou:

$$I_a = J \quad \text{si} \quad I_t > J; J < I_c \quad (9)$$

ou:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; 2I_c < J \quad (10)$$

b2) câbles aériens avec connexions au sol de la gaine métallique (Figure 4)

- 1) évaluer le courant de connexion I_c et le courant de claquage I_s au moyen de l'équation (4);
- 2) utiliser la plus petite des valeurs $2I_c$ et $2I_s$ comme valeur de courant de crête pour l'essai décrit dans 5.2.4 pour les câbles aériens:

$$I_t = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_t = 2I_s$$

- 3) si aucune défaillance primaire ne se manifeste pendant l'essai décrit dans 5.2.4, le courant kéraunique de défaillance est la plus petite des valeurs $2I_c$ et $2I_s$:

$$I_a = 2I_c \quad \text{ou} \quad I_a = 2I_s$$

si les défaillances primaires se manifestent pendant l'essai de robustesse décrit dans 5.2.4, le courant de crête I_t sera réduit afin de déterminer le courant de crête minimal qui provoque des défaillances primaires, la nouvelle valeur de I_t sera alors le courant kéraunique de défaillance:

$$I_a = I_t$$

alors:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (11)$$

ou:

$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (12)$$

ou:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (13)$$

Remplacée par une version plus récente

Le courant I_s ne sera pas évalué pour des câbles sans élément métallique à l'intérieur du cœur du câble ou pour des câbles ayant plus d'une gaine métallique.

5.2 Essai de résistance aux surintensités

5.2.1 Essai de tension de claquage

On utilisera pour le test un échantillon de câble de 5 mètres de long.

Les composants conducteurs placés dans le cœur du câble seront connectés de manière à former une borne électrique unique; une autre borne sera connectée à la gaine métallique, qui sera isolée des autres éléments conducteurs. Un générateur de surtension avec une forme d'onde de 1,2/50 μ s sera placé entre les deux bornes.

La tension d'essai est mesurée pendant l'essai.

Après l'application de tensions de décharge d'amplitude croissante, l'essai identifie un seuil de surtension qui cause le claquage.

5.2.2 Essai de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion

L'ensemble des composants conducteurs à l'une des extrémités du câble sera connecté de manière à constituer une borne électrique unique. A l'autre extrémité de l'échantillon de câble, une autre borne sera connectée de la même manière. Un générateur de surintensité sera placé entre les deux bornes (Figure 5).

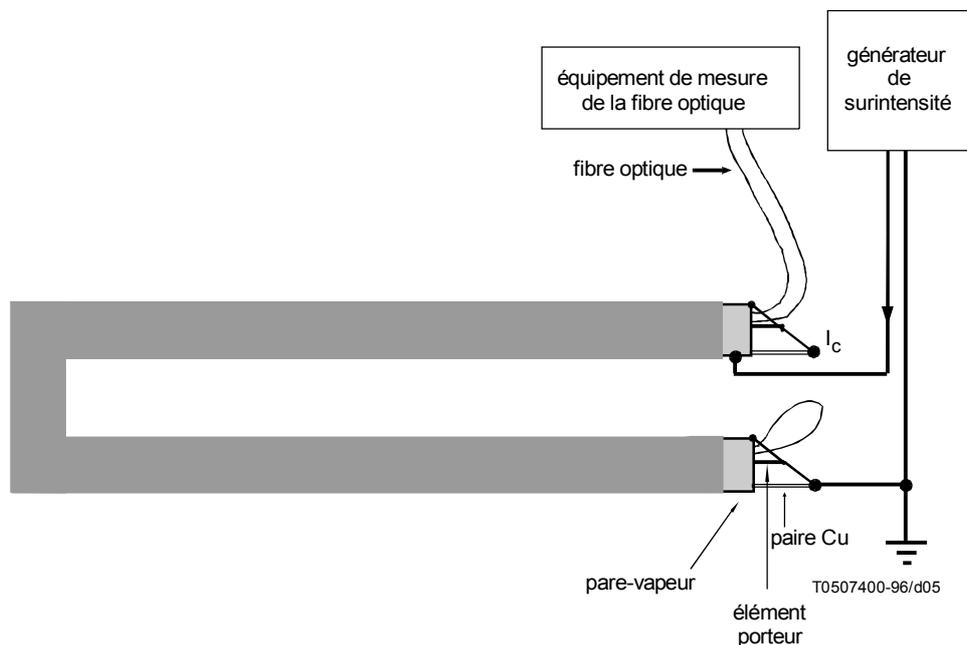


FIGURE 5/K.25

Montage de test de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion

Le courant d'essai I_c sera le courant d'impulsion I_p (3.15), unique courant mesuré pendant l'essai.

L'échantillon est testé pour ses pertes de performance selon 3.1 après l'application de courants de décharge d'amplitude croissante. L'essai identifie un seuil de surintensité qui entraîne des défaillances primaires.

Remplacée par une version plus récente

5.2.3 Essais en bac à sable pour les câbles enterrés

Un échantillon de câble d'un mètre de long sera immergé dans du sable humide contenu dans un bac rigide non-conducteur d'une taille minimale de 0,75 mètre pour toutes ses dimensions intérieures (Figure 6). Le bac sera pourvu de deux trous d'un diamètre approximatif de 25 mm, situés dans le bas, assurant le drainage de l'eau. Le sable sera un sable de silice de granulométrie 20-40 totalement saturé pendant une durée maximale de 8 heures et drainé pendant 5 minutes au moins avant les essais. Le sable humide sera tassé autour de l'échantillon de câble placé dans la boîte d'essai. La teneur en humidité du sable dans le volume le plus critique sera de 15% en poids.

Une électrode de décharge sera installée au voisinage du centre du bac d'essai à une distance de 26 ± 1 mm de l'échantillon. Tous les éléments conducteurs du câble seront connectés de manière à constituer une borne et un générateur de courant d'essai sera inséré entre cette borne et l'électrode de décharge (Figure 6).

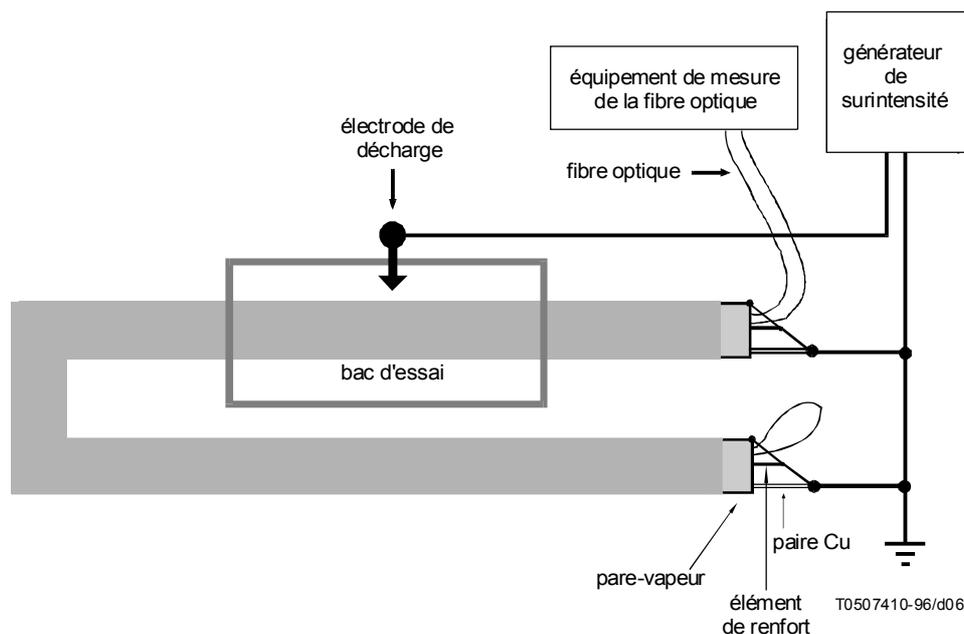


FIGURE 6/K.25

Montage de test de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion

Il est important que le courant d'essai s'écoule à travers l'échantillon. Pour favoriser cet écoulement, les éventuelles gaines isolantes entourant la gaine métallique externe ou le pare-vapeur seront incisées ou perforées au moyen d'un outil de 1 mm de diamètre face à l'électrode de décharge. Si la tension du générateur d'essai ne peut vaincre l'entrefer, un fil métallique fin sera connecté entre l'électrode de décharge et la gaine métallique externe ou le pare-vapeur.

Le courant d'essai I_t sera le courant d'impulsion I_p (3.15), unique courant mesuré pendant l'essai.

L'échantillon est testé pour ses pertes de performance selon 3.1 après l'application de courants de décharge d'amplitude croissante. L'essai identifie un niveau de seuil de surintensité qui entraîne des défaillances primaires.

5.2.4 Essais de câbles aériens

Un échantillon de câble d'un mètre de long sera tendu conformément aux spécifications du constructeur.

Une électrode de décharge sera installée au voisinage de l'échantillon à une distance de 26 ± 1 mm. Tous les éléments conducteurs du câble seront connectés de manière à constituer une borne et un générateur de courant d'essai sera inséré entre cette borne et l'électrode de décharge.

Il est important que le courant d'essai s'écoule à travers l'échantillon. Pour favoriser cet écoulement, les éventuelles gaines isolantes entourant la gaine métallique externe ou le pare-vapeur seront incisées ou perforées au moyen d'un outil de 1 mm de diamètre face à l'électrode de décharge. Si la tension du générateur d'essai ne peut vaincre l'entrefer, un fil métallique fin sera connecté entre l'électrode de décharge et la gaine métallique externe ou le pare-vapeur.

Le courant d'essai I_t sera le courant d'impulsion I_p (3.15), unique courant mesuré pendant l'essai.

Remplacée par une version plus récente

6 Nécessité de la protection

6.1 Généralités

La nécessité de protéger une installation à fibres optiques contre la foudre dépend de la fréquence des défaillances primaires N_p (3.3) ou du taux annuel de dommages ADR (3.3) et de la fréquence de défaillances primaires N_a acceptée (3.5).

La fréquence des défaillances primaires, N_p , est calculée au moyen de la formule suivante:

$$N_p = N_{pb} + N_{pa} + N_{ps} \quad (14)$$

où:

N_{pb} est la fréquence des défaillances primaires des câbles enterrés;

N_{pa} est la fréquence des défaillances primaires des câbles aériens;

N_{ps} est la fréquence des défaillances primaires dues aux impacts directs de foudre sur la structure exposée dans laquelle entre le câble à fibres optiques.

Si la fréquence des défaillances primaires N_p est supérieure à la fréquence acceptée N_a , des mesures de protection seront nécessaires afin de diminuer N_p et de réduire au minimum le risque de défaillances primaires R_d .

Chaque opérateur de réseau doit définir la fréquence de défaillances primaires N_a acceptée et le risque de dommage R_a accepté. Des valeurs représentatives de N_a et de R_a sont données dans l'Appendice II.

6.2 Fréquence des défaillances primaires ou taux annuel de dommages pour les câbles enterrés

La fréquence des défaillances primaires ou le taux annuel de dommages (ADR) (*annual damage rate*) pour les câbles enterrés, N_{pb} , est estimé au moyen de l'équation (6) dans [1] ou au moyen de la formule suivante:

$$N_{pb} = K_d \cdot N_d \cdot p(\geq I_a) \text{ dommages/an} \quad (15)$$

où:

$K_d = 3$ est le facteur de sécurité défini dans 3.17

NOTE – Le facteur de sécurité K_d est introduit dans la présente Recommandation afin de permettre une évaluation prudente de la distance d d'apparition d'un arc entre un impact de foudre au sol et le câble enterré, en utilisant une valeur approximative basée sur la notion de distance d'arc équivalente D .

p est la probabilité d'un courant céramique de crête supérieur ou égal à la valeur I_a . La distribution probabiliste du courant de choc céramique pour les structures enterrées et aériennes est exposée dans la Figure 7 et est exprimée au moyen de la formule suivante:

$$p(i) = 0 \quad \text{pour } i \leq 0$$
$$p(i) = 10^{-2} \cdot e^{(a-bi)} \quad \text{pour } i > 0 \quad (i \text{ en [kA]})$$

où:

$$a = 4,617 \quad \text{et} \quad b = 0,0117 \quad \text{pour } i < 20 \text{ kA}$$

$$a = 5,075 \quad \text{et} \quad b = 0,0346 \quad \text{pour } i \geq 20 \text{ kA}$$

I_a est le courant céramique de défaillance, c'est-à-dire le courant qui provoque des défaillances primaires et il dépend de la conception du câble (5.1);

N_d est l'espérance mathématique annuelle du nombre d'éclairs frappant directement le câble (3.8), calculée au moyen de la formule suivante:

$$N_d = N_g \cdot 2DL/1000 \text{ chocs par an} \quad (16)$$

où:

N_g est la densité d'impacts de foudre au sol, évaluée en nombre d'impacts au sol par km carré et par an. Si la cartographie de N_g n'est pas disponible, cette valeur sera estimée au moyen de la relation suivante (qui varie en fonction des conditions climatiques):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (17)$$

Remplacée par une version plus récente

où:

T_d est le nombre de jours pendant lesquels il est possible d'entendre le tonnerre à un point d'observation donné. T_d peut être estimé au moyen de cartes iso-kérauniques. Des cartes iso-kérauniques plus détaillées existent également pour des zones limitées et peuvent être obtenues auprès des services officiels nationaux;

2DL dans l'équation (16) représente la zone qui est exposée à un impact direct de foudre ou à un arc ayant son origine au point d'impact. L est la longueur de la route en kilomètres, D est la distribution de la probabilité de chocs kérauniques pour les structures aériennes et enterrées présentée dans la Figure 7 et exprimée par l'équation (12) de [2]:

$$D = 0,482 \sqrt{\rho} \text{ [m]}; \text{ pour } \rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m} \quad (18)$$

$$D = 0,283 \sqrt{\rho} \text{ [m]}; \text{ pour } \rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (19)$$

où:

ρ est la résistivité du sol en $\Omega \cdot \text{m}$, inverse de la conductivité du sol. La valeur de la résistivité du sol peut être trouvée dans des cartes de résistivité du sol ou peut être mesurée.

Une méthode d'interpolation algébrique ou graphique peut être utilisée pour calculer D pour des valeurs de ρ comprises entre $100 \Omega \cdot \text{m}$ et $1000 \Omega \cdot \text{m}$. La formule d'interpolation algébrique est la suivante:

$$D = 0,191 (\sqrt{\rho} - 10) + 4,82 \quad (20)$$

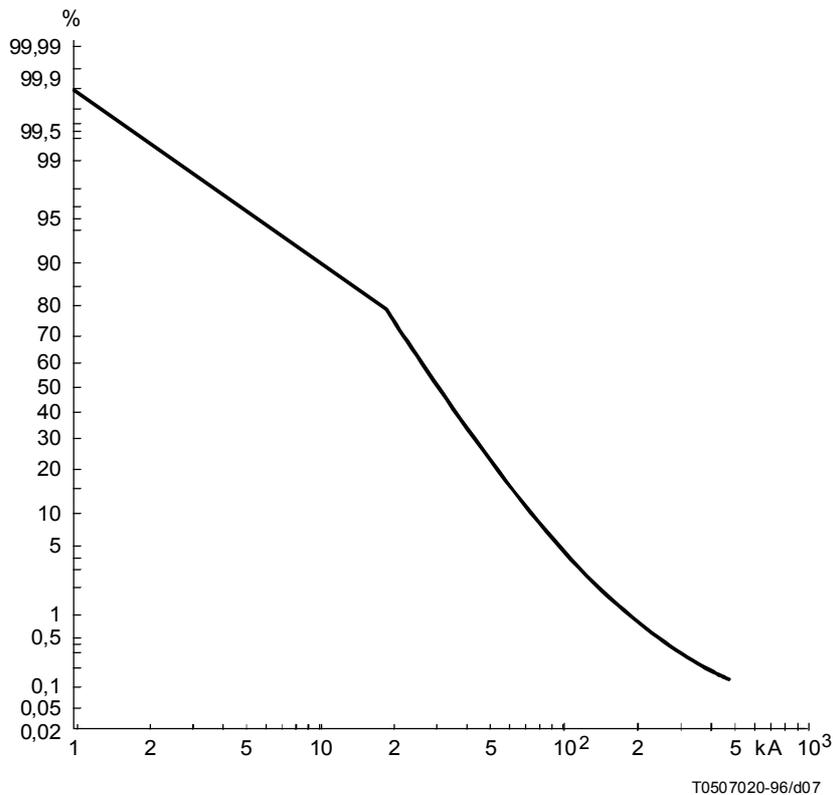


FIGURE 7/K.25

Distribution cumulative de courant kéraunique de crête
pour les structures enterrées et aériennes

Remplacée par une version plus récente

6.3 Fréquence des défaillances primaires ou taux annuel de dommages pour les câbles aériens

La fréquence des éclairs de foudre directs N_d est calculée comme suit pour une longueur de câble aérien donnée:

$$N_d = N_g \cdot A_e \quad (21)$$

$$A_e = 2 \cdot 1000 \cdot F_d \cdot H \cdot L \quad (22)$$

avec:

A_e zone effective de collecte de la foudre;

$F_d = 3$ facteur de diversion du choc pour les lignes téléphoniques; toutes les autres variables ont été définies précédemment.

La valeur de N_{pa} est estimée, pour les câbles aériens, en multipliant le nombre annuel des éclairs N_d , par la probabilité du courant de défaillance I_a :

$$N_{pa} = N_d \cdot p(\geq I_a) \text{ défaillances primaires par an} \quad (23)$$

avec:

p probabilité que le courant céramique de crête soit supérieur ou égal à la valeur I_a . La Figure 7 indique la distribution de la probabilité de chocs céramiques pour des structures aériennes;

I_a courant céramique de défaillance (3.10), c'est-à-dire le courant qui provoque des défaillances primaires et qui dépendra de la conception du câble (5.1).

NOTE – Le facteur de sécurité de protection K_d n'est pas introduit car l'équation (16) permet une évaluation prudente du nombre d'impacts directs sur le câble aérien.

L'inverse du nombre de défaillances primaires occasionnées par la foudre, N_p , fournira le temps moyen entre défaillances primaires exprimé en années.

6.4 Fréquence des défaillances primaires dues aux impacts directs de foudre frappant la structure exposée dans laquelle entre le câble à fibres optiques

Le courant céramique d'un éclair frappant directement une structure exposée circule dans le système de terre de la structure et dans les installations entrant dans la structure elle-même. Une partie du courant céramique entre donc dans la connexion du câble et dans la gaine du câble à fibres optiques.

Ce courant peut causer des défaillances primaires lorsqu'il est supérieur au courant de la gaine I_s ou au courant de connexion I_c .

La fréquence des dommages N_{ps} est donc estimée au moyen de la formule suivante:

$$N_{ps} = N_d \cdot p(I) \quad (24)$$

avec:

N_d fréquence des impacts directs de foudre frappant la structure exposée et les structures adjacentes, calculée au moyen de la référence [8];

I valeur maximale du courant céramique frappant la structure et provoquant un courant de claquage de la gaine I_s ou le courant de connexion I_c dans la gaine du câble ou dans la connexion du câble, respectivement. Ce courant céramique I est estimé en prenant pour hypothèse que 50% du courant céramique frappant la structure exposée circulent dans le système de terre et que les 50% restants sont répartis entre les différents services entrant dans la structure;

$p(I)$ probabilité que le courant céramique frappant la structure exposée atteigne sa valeur maximale, évaluée au moyen de la Figure 7.

Remplacée par une version plus récente

7 Mesures de protection

7.1 Généralités

Les éléments métalliques d'un câble à fibres optiques seront continus, c'est-à-dire qu'ils seront connectés au niveau de toutes les épissures, régénérateurs, etc. sur toute la longueur du câble. Les éléments métalliques seront connectés au niveau des têtes de câbles à la barre de liaison de masse (e.p.b.b.) (*equipotential bonding bar*), soit directement, soit au moyen d'un SPD (Figure 8).

L'interconnexion de composants métalliques tels qu'une armature, un pare-vapeur ou un élément de renfort au niveau des épissures ou des raccordements peut être évitée dans les câbles n'utilisant pas de conducteurs métalliques pour les signaux ou l'alimentation en électricité (voir Note au 7.4).

Si le câble à la barre de liaison de masse (e.p.b.b.) du bâtiment de l'abonné n'est pas disponible, les éléments métalliques du câble à fibres optiques seront reliés à un e.p.b.b. spécial dans la terminaison du réseau optique.

Les mesures de protection suivantes sont en général prises en considération pour des câbles à fibres optiques contenant des éléments métalliques:

- utilisation de câbles diélectriques ou ne contenant pas de métal;
- choix du type de câble pour les câbles enterrés et aériens;
- utilisation des fils écran pour les câbles enterrés;
- mise à la terre de la gaine métallique sur le parcours du câble, uniquement pour les câbles aériens (voir 5.1);
- redondance des parcours pour les câbles enterrés et aériens;
- utilisation de bloqueurs de surcharge pour protéger les paires métalliques des câbles aériens et enterrés.

NOTES

1 Voir la Recommandation K.11 «Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités» [4] en ce qui concerne les bloqueurs de surcharge sur paires métalliques.

2 La mise à la terre de la gaine métallique sur le parcours pour des câbles métalliques comportant des éléments métalliques dans le cœur du câble n'est pas prise en considération car l'efficacité de ces mesures est négligeable en ce qui concerne la réduction des défaillances primaires.

3 Il peut être nécessaire de protéger les câbles menant aux structures exposées [8] au moyen de mesures de protection supplémentaires, conformément à [2], afin de réduire la fréquence N_{ps} (6.4).

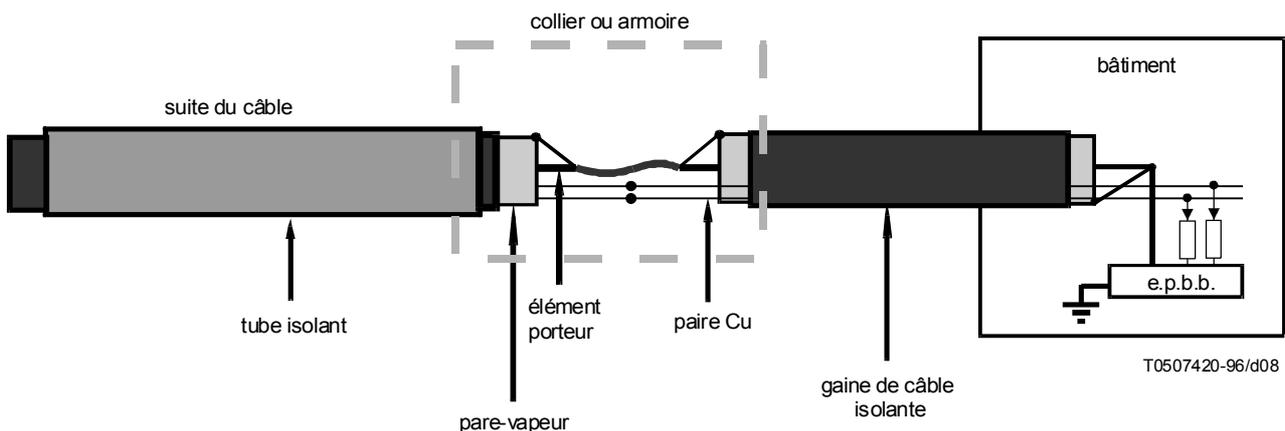


FIGURE 8/K.25

Exemple de connexion d'éléments métalliques

7.2 Câbles diélectriques ou sans métal

L'utilisation de câbles diélectriques ou sans métal évitera au câble les dommages causés par la foudre.

Remplacée par une version plus récente

NOTE – Il faut prendre en compte, pour les câbles enterrés, la réduction de la résistance du câble à la pénétration de l'humidité et la difficulté de localiser ces pénétrations lors des activités de maintenance subséquentes. En outre, des câbles métalliques situés dans la même tranchée peuvent être frappés directement par la foudre et le câble optique peut être également détruit (de tels dommages ne sont pas connus à ce jour). Le même type de problèmes peut se manifester lorsqu'un câble sans métal est accompagné d'un conducteur métallique (utilisé pour localiser le câble optique).

7.3 Choix des caractéristiques du câble utilisé à la fois pour les installations enterrées et aériennes

Il existe une valeur spécifique du courant kéraunique de défaillance I_a pour chaque type de câble. Cette valeur est évaluée comme indiqué dans 5.1.

Le choix du type de câble implique une valeur spécifique du courant kéraunique de défaillance I_a qui doit être utilisée dans l'équation (15) ou (23) pour calculer la fréquence de défaillances primaires N_{pb} et N_{pa} , respectivement.

Plus la valeur de I_a est élevée, plus la valeur de N_p sera faible.

7.4 Utilisation d'un fil écran pour les câbles enterrés

L'utilisation de fils écran peut réduire la probabilité des dommages.

Les fils écran interceptent une partie du courant de choc et réduisent ainsi la quantité du courant qui frappe le câble.

Le facteur de blindage, dénommé η , indique, pour des fils écran installés correctement, que $100\eta\%$ du courant de choc s'écoule le long de la gaine du câble. Les facteurs de blindage peuvent être calculés selon la méthode décrite dans l'Appendice I.

La réduction de la fréquence des défaillances primaires N_p résultant de la présence de fils écran peut être calculée par la formule suivante:

$$N_p = K_d \cdot N_d \cdot p(\geq I_a/\eta) \quad (25)$$

avec:

- $K_d = 3$ facteur de protection de correction défini dans 3.17;
- N_d espérance mathématique annuelle de nombre d'éclairs frappant directement le câble (3.7), calculée selon l'équation (7);
- p probabilité pour que le courant kéraunique de crête soit supérieur ou égal à I_a/η ;
- I_a courant kéraunique de défaillance I_a ;
- η facteur de blindage.

NOTE – Dans le cas d'une âme de câble sans métal (c'est-à-dire dont le seul composant métallique est la gaine), la protection contre l'induction des lignes électriques peut être obtenue en assurant la continuité de la ou des gaines au niveau des épissures, en assurant une mise à la terre au niveau des répéteurs et en mettant en place des électrodes de prise de terre au niveau des épissures uniquement lorsque ces électrodes sont nécessaires pour limiter le potentiel de la gaine par rapport à la terre à une valeur inférieure à la limite de la tension de claquage.

L'installation d'un ou de plusieurs fils écran permet par ailleurs l'utilisation d'un autre procédé coordonné de protection: l'interruption de la gaine métallique (c'est-à-dire du pare-vapeur) au niveau de chaque épissure ou à des emplacements supplémentaires nécessaires pour limiter la valeur induite de la tension entre la gaine et la terre à une valeur inférieure à la limite de la tension de claquage [3].

7.5 Redondance d'itinéraires

La disponibilité globale du service peut être améliorée par la mise en œuvre d'une redondance d'itinéraire utilisant un deuxième itinéraire parallèle, qui peut être nécessaire pour d'autres raisons telles que le besoin de disposer de ressources supplémentaires.

Dans un tel cas, la méthode présentée dans 3.5 et 4.3 de [1] peut aider à prendre une décision au sujet de la distance optimale séparant les itinéraires en vue d'augmenter la disponibilité globale du service respectivement dans le cas de câbles enterrés et aériens.

Remplacée par une version plus récente

Appendice I

Valeurs du facteur de blindage

I.1 Définition du facteur de blindage

Le but du présent appendice est de proposer des formules simples permettant d'estimer le facteur de blindage η mentionné au 7.4.

Conformément à la référence [6], lorsqu'un impact direct a lieu au contact du fil écran ou de la gaine métallique du câble, la différence de potentiel entre ces conducteurs sera suffisamment importante pour produire un arc entre eux, de sorte qu'ils peuvent être considérés comme interconnectés au point d'apparition de l'arc. Il en résulte qu'une partie seulement du courant kéraunique s'écoulera dans la gaine du câble, ce qui réduit la probabilité d'une défaillance primaire.

De cette manière, si I_{sh} et I'_{sh} sont les courants de gaine avec et sans fil écran, le facteur de blindage η est défini par le rapport

$$\eta = \frac{I'_{sh}}{I_{sh}} \quad (I-1)$$

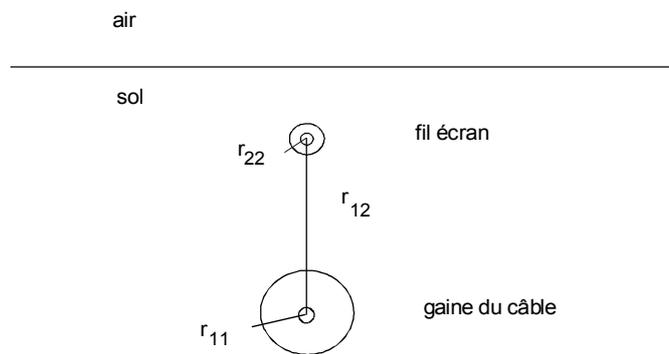
I.2 Facteur de blindage avec un fil écran

La formule est la suivante:

$$\eta = \frac{\log \frac{r_{12}}{r_{22}}}{\log \frac{r_{12}^2}{r_{11} \cdot r_{22}}} \quad (I-2)$$

avec la notation suivante (voir Figure I.1):

- r_{11} rayon moyen de la gaine;
- r_{22} rayon du fil écran;
- r_{12} distance entre les axes précédents.



T0506930-95/d09

FIGURE I.1/K.25
Câble protégé par un fil écran

Remplacée par une version plus récente

I.3 Facteur d'écran avec deux fils écran disposés d'une manière symétrique par rapport à l'axe du câble

La formule est la suivante [7]:

$$\eta = \frac{\log \frac{r'_{12}}{r'_{22}}}{\log \frac{r'_{12}}{r'_{11} \cdot r'_{22}}} \quad r'_{12} > (2 \cdot r_{11} \cdot h)^{0,5} = r'_{11} \quad (I-3)$$

avec la notation suivante (voir Figure I.2):

r'_{12} distance entre l'axe du câble et l'un des fils écran

$$r'_{11} = (2 \cdot r_{11} \cdot h)^{0,5}$$

r_{11} rayon moyen de la gaine

$$r'_{22} = (2 \cdot r_{22} \cdot h' \cdot b \cdot b')^{0,25}$$

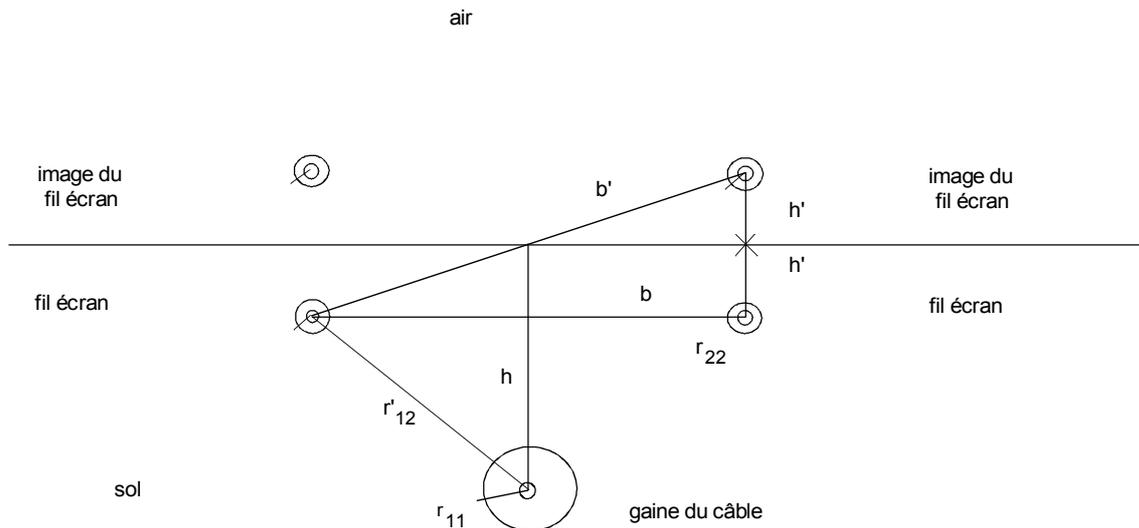
r_{22} rayon du fil écran

h profondeur à laquelle est enterré le câble

h' profondeur à laquelle sont enterrés les fils écran

b distance entre les fils écran

$b' = \sqrt{b^2 + 4 \cdot h'^2}$ distance entre un fil écran et l'image de l'autre par rapport à la surface de séparation entre le sol et l'air



T0506940-95/d10

FIGURE I.2/K.25

Câble protégé par deux fils écran

Remplacée par une version plus récente

I.4 Exemple d'application

Soient les données de câble suivantes:

$$r_{11} = 0,02 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

et les données de fil écran suivantes:

$$r_{22} = a' = 0,004 \text{ m}$$

$$h' = 0,3 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

on en déduit les valeurs suivantes pour η :

$$\eta = 0,63 \text{ pour un fil écran}$$

$$\eta = 0,45 \text{ pour deux fils écran}$$

Appendice II

Fréquence acceptable de défaillances primaires (N_a)

Les dommages causés par la foudre à des installations de fibres optiques peuvent provoquer une interruption de service inacceptable pour le public. Dans un tel cas, la décision de prendre ou non des mesures de protection doit être prise en comparant la valeur effective de la fréquence de défaillances primaires N_p de l'installation à fibres optiques avec la valeur limite de la fréquence de défaillances primaires acceptée N_a qui est fixée par chaque opérateur de réseau.

La valeur N_a peut être estimée au moyen de la formule suivante:

$$N_a = R_a / \delta$$

avec:

R_a niveau maximal accepté pour le risque de dommage

$\delta = n' \cdot t' / n \cdot 8760$ niveau relatif de la perte prévue par dommage

n' nombre moyen d'utilisateurs affectés par une interruption de service pour chaque dommage

t' nombre d'heures d'interruption de service par dommage

n nombre d'utilisateurs faisant appel au service

Les valeurs représentatives de R_a et de N_a suggérées par la présente Recommandation sont:

$$N_a = 0,1 \quad R_a = 10^{-4}$$

donc:

$$\delta = 10^{-3}$$

Remplacée par une version plus récente

Le Tableau II.1 montre le nombre d'heures d'interruption de service par dommage pour différentes valeurs possibles du rapport n'/n .

TABLEAU II.1/K.25

Nombre d'heures d'interruption de service par dommage (t')

n'/n	t' [heures]
0,1	88
0,2	44
0,3	30
0,4	22
0,5	18
1	9