



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.25

(02/2000)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

Protection des câbles à fibres optiques

Recommandation UIT-T K.25

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

PROTECTION DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES

Résumé

La présente Recommandation décrit une procédure visant à protéger les lignes de télécommunication utilisant des fibres optiques contre les chocs de foudre sur la ligne elle-même ou sur les structures par lesquelles la ligne pénètre. Cette procédure de protection est associée à l'exposition de la ligne aux chocs de foudre directs. Elle inclut la sélection des caractéristiques et l'installation du câble, l'utilisation de fils de garde, la mise à l'équipotentiel/à la terre de la tresse du câble, l'installation de dispositifs de protection contre les surtensions (SPD, *surge protective device*) et la redondance de routage.

Source

La Recommandation UIT-T K.25, révisée par la Commission d'études 5 de l'UIT-T (1997-2000), a été approuvée le 25 février 2000 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

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'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.

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 2000

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

		Page
1	Domaine d'application et objet	1
2	Références normatives	1
3	Définitions	1
4	Configuration de référence.....	3
5	Caractéristiques de construction du câble.....	3
5.1	Généralités	3
5.2	Courant de défaillance pour câble enterré ou câble aérien avec connexion à la terre de la gaine métallique	3
5.3	Courant de défaillance pour câble aérien sans connexion à la terre de la gaine métallique.....	4
6	Besoin de protection	5
7	Mesures de protection.....	5
7.1	Généralités	5
7.2	Câbles diélectriques ou non métalliques.....	6
7.3	Choix des caractéristiques du câble pour installations aussi bien enterrées qu'aériennes.....	7
7.4	Utilisation d'un fil de garde pour les câbles enterrés	7
7.5	Redondance de routage	7
	Annexe A – Fréquence des défaillances primaires	7
A.1	Câbles enterrés	7
A.2	Câbles aériens	8
A.3	Câbles pénétrant dans une structure exposée aux impacts de foudre directs.....	9
	Annexe B – Courant de claquage de gaine	9
B.1	Câble enterré	9
B.2	Câble aérien	10
	B.2.1 Câble aérien sans prises de terre sur la gaine métallique.....	10
	B.2.2 Câble aérien avec prises de terre sur la gaine métallique	10
	Annexe C – Essais de résistance aux surintensités	11
C.1	Généralités	11
C.2	Essai de tension de claquage.....	11
C.3	Essai de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion.....	12
C.4	Essai au bac à sable pour câbles enterrés.....	12
C.5	Essai pour câbles aériens	12

	Page
Appendice I – Facteur d'écran	14
I.1 Facteur d'écran pour un seul fil de garde	14
I.2 Facteur d'écran pour fils de garde multiples	14
I.3 Longueur minimale des fils de garde enterrés	15
Appendice II – Fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a)	16
Appendice III – Facteur environnemental (K_e)	17
Appendice IV – Bibliographie	17

Recommandation K.25

PROTECTION DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES

(Melbourne, 1988; révisée en 1996 et 2000)

1 Domaine d'application et objet

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

L'objet de la présente Recommandation est de limiter le nombre de défaillances primaires pouvant se produire dans le câble à fibres optiques d'une installation spécifiée afin de ne pas dépasser des valeurs inférieures ou égales à une valeur limite définie comme étant la fréquence tolérable de défaillances primaires.

Par conséquent, la présente Recommandation expose une méthode permettant d'une part de calculer le nombre de défaillances primaires possibles et d'autre part de choisir les mesures de protection réalisables.

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] Recommandation CCITT K.29 (1992), *Dispositions de protection coordonnée pour les câbles de télécommunication souterrains.*
- [2] Recommandation UIT-T K.11 (1993), *Principes de la protection contre les surtensions et les surintensités.*
- [3] Recommandation UIT-T K.39 (1996), *Evaluation des risques d'endommagement des installations de télécommunication par la foudre.*

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 défaillance primaire: dommage provoqué par un choc de foudre dans une ligne de télécommunication, la conséquence étant une interruption de service.

3.2 fréquence des défaillances primaires (F_p): nombre annuel moyen de défaillances primaires prévues dans une installation à fibres optiques en raison d'impacts directs de foudre.

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

3.4 fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a): fréquence annuelle moyenne de défaillances primaires dans une installation à fibres optiques n'exigeant pas de mesures de protection additionnelles.

- 3.5 taux tolérable de défaillances primaires (R_a):** niveau maximal du taux de défaillances primaires (R_d) dues à des impacts directs de foudre dans une installation n'exigeant pas de mesures de protection additionnelles.
- 3.6 impact direct de foudre:** coup de foudre frappant un câble aérien ou la surface du sol près d'un câble enterré de telle manière que l'on puisse supposer que tout le courant de foudre est conduit vers ce câble.
- 3.7 fréquence d'impacts directs de foudre (N_d):** espérance mathématique annuelle du nombre d'impacts directs de foudre sur une installation à fibres optiques.
- 3.8 distance d'amorçage (D):** distance mesurée à partir d'un câble enterré dont la valeur, multipliée par 2, par la longueur (L) de la ligne et par la densité kéraunique (N_g), donne la fréquence des impacts directs de foudre (N_d) du câble.
- 3.9 courant de défaillance (I_a):** valeur minimale du courant de foudre de crête qui induit un arc direct sur le câble et cause des défaillances primaires.
- 3.10 courant de claquage de gaine (I_s):** intensité minimale s'écoulant dans la gaine métallique et induisant des tensions de claquage entre celle-ci et des éléments métalliques situés dans l'âme isolée du câble, ce qui conduit à des défaillances primaires.
- 3.11 courant d'arc vers des éléments de connexion (I_c):** intensité minimale s'écoulant dans les éléments d'interconnexion et provoquant une défaillance primaire par effets thermiques ou mécaniques.
- 3.12 éléments d'interconnexion:** éléments métalliques connectant une ou des gaines ou, un ou des porteurs métalliques d'un câble à fibres optiques au niveau des jonctions et des boîtes d'extrémité.
- 3.13 courant d'épreuve (I_t):** intensité minimale injectée par un arc dans la gaine métallique d'un câble qui provoque une défaillance primaire par effets thermiques ou mécaniques.
- 3.14 tension de claquage (U_b):** tension de tenue aux ondes de choc entre des éléments métalliques de l'âme isolée du câble optique et la gaine métallique de celui-ci.
- 3.15 facteur de sécurité contre les dommages (K_d):** facteur permettant une évaluation prudente de la fréquence des défaillances primaires.
- 3.16 dispositif de protection contre les surtensions (SPD, *surge protective device*):** dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à écouler les surintensités. Il contient au moins un élément non linéaire.
- 3.17 barre d'équipotentialité (E.B.B., *equipotential bonding bar*):** barre conductrice de l'électricité dont le potentiel électrique sert de référence commune et à laquelle des parties métalliques de l'installation peuvent être connectées.
- 3.18 courant de foudre direct sur des câbles aériens (J):** courant minimal induit par la foudre qui frappe un câble aérien et provoque un arc à la terre.
- 3.19 structure exposée:** structure (par exemple un pylône de télécommunication, un bâtiment élevé) qui nécessite une protection contre les chocs de foudre directs.
- 3.20 niveau kéraunique ou journées d'activité orageuse (T_d):** nombre de jours par an pendant lesquels l'on entend le tonnerre à un endroit donné.
- 3.21 densité d'impacts au sol (N_g):** nombre moyen d'impacts directs de foudre au sol par kilomètre carré et par an, concernant la région dans laquelle se trouve la structure ou le câble à fibres optiques.

3.22 aire de collecte de foudre: zone à la surface du sol qui a la même fréquence d'impacts directs de foudre annuelle que la structure ou la ligne.

4 Configuration de référence

La Figure 1 représente la configuration de référence pour les installations à fibres optiques. Elle indique les connexions par câbles à fibres optiques entre deux commutateurs, entre un commutateur (S, *switch*) et une terminaison de ligne (LT, *line termination*) et entre un commutateur et un équipement de ligne.

NOTE – Pour la protection contre la foudre de l'installation à câbles métalliques entre équipement et abonné, les exigences indiquées dans la référence [2] doivent être prises en considération.

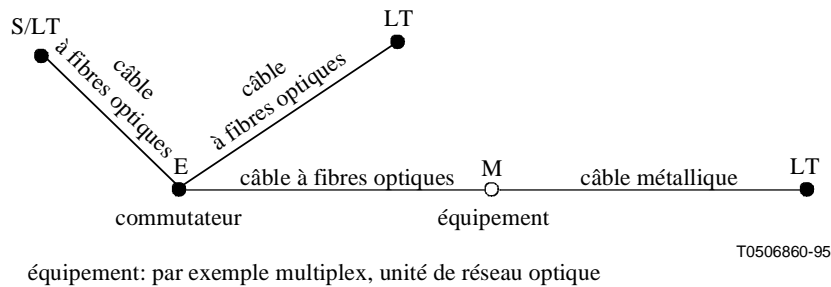


Figure 1/K.25 – Configuration de référence

5 Caractéristiques de construction du câble

5.1 Généralités

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

- type A: câble avec âme isolée diélectrique et sans éléments métalliques (câble diélectrique ou non métallique);
- type B: câble avec âme isolée diélectrique et une ou des gaines métalliques: il n'y a pas d'éléments métalliques dans l'âme isolée du câble, celui-ci possédant une gaine métallique (par exemple la gaine d'étanchéité) ou un fil porteur métallique;
- type C: câble avec éléments métalliques dans l'âme isolée et avec une ou des gaines métalliques: il y a des éléments (comme des âmes conductrices ou des porteurs) métalliques dans l'âme isolée du câble, celui-ci possédant une ou plusieurs gaines métalliques;
- type D: câble avec éléments métalliques dans l'âme isolée et sans gaine métallique.

Pour les câbles de type B, C ou D, la valeur du courant de défaillance (I_a) doit être évaluée, sauf pour les câbles possédant plusieurs gaines métalliques.

5.2 Courant de défaillance pour câble enterré ou câble aérien avec connexion à la terre de la gaine métallique

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

- le double du courant d'arc vers des éléments de connexion (I_c) évalué par l'essai de résistance des éléments d'interconnexion aux surintensités (C.3);

- le courant d'épreuve (I_t) évalué par l'essai de résistance aux surintensités décrit en C.4 pour les câbles enterrés ou en C.5 pour les câbles aériens (voir Bibliographie [2]);
- pour les câbles de type C, le double du courant de claquage de gaine (I_s) s'écoulant dans la gaine métallique du câble (avec ou sans revêtement isolant). Ce courant est calculé par la procédure de l'Annexe B.

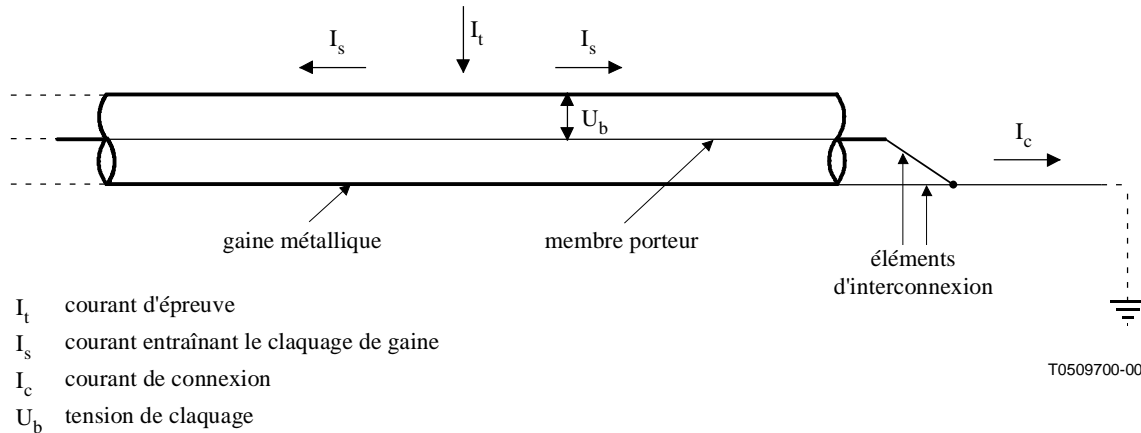


Figure 2/K.25 – Courants de foudre dans un câble à fibres optiques

Donc:

$$I_a = I_t \text{ si } I_t < 2I_s \text{ et } I_t < 2I_c \quad (1)$$

ou:

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

ou:

$$I_a = 2I_c \text{ si } I_t > 2I_c \text{ et } I_c < I_s \quad (3)$$

5.3 Courant de défaillance pour câble aérien sans connexion à la terre de la gaine métallique

Ce type de câble est censé être installé sur des poteaux en bois sans fils de garde ni fils de haubanage serré. Le courant de défaillance (I_a) pour un tel câble est la plus petite des valeurs suivantes (voir Figure 2):

- le double du courant d'arc vers des éléments de connexion (I_c) évalué par l'essai de résistance des éléments d'interconnexion aux surintensités (C.3);
- le courant d'épreuve (I_t) évalué par l'essai de résistance aux surintensités décrit en C.5 pour les câbles aériens (voir Bibliographie [2]);
- pour les câbles de type C, le courant de foudre direct (J), qui frappe le câble aérien et provoque un contournement jusqu'au sol. Ce courant est calculé par la procédure de l'Annexe B.

Donc:

$$I_a = I_t \text{ si } I_t < J \text{ et } I_t < 2I_c \quad (4)$$

ou:

$$I_a = J \text{ si } I_t > J \text{ et } J < 2I_c \quad (5)$$

ou:

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

6 Besoin de protection

La nécessité d'une protection des installations à fibres optiques contre la foudre dépend de la fréquence des défaillances primaires (F_p) et de sa valeur tolérable (F_a). La fréquence de défaillances primaires (F_p) est donnée par l'équation suivante:

$$F_p = F_{pb} + F_{pa} + F_{ps} \quad (7)$$

où:

F_{pb} est la fréquence de défaillances primaires de câbles enterrés

F_{pa} est la fréquence de défaillances primaires de câbles aériens

F_{ps} est la fréquence de défaillances primaires dues à des chocs de foudre directs sur des structures exposées par lesquelles le câble à fibres optiques pénètre.

Si la fréquence de défaillances primaires (F_p) est supérieure à la fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a), des mesures de protection sont nécessaires pour réduire la fréquence F_p et pour minimiser le taux de défaillances primaires (R_d).

Le taux de défaillances primaires est estimé par l'équation suivante (voir Appendice II):

$$R_d = F_p \cdot \delta \quad (8)$$

où δ est la grandeur relative des pertes attendues par défaillance primaire.

Donc:

$$R_d = F_{ps} \cdot \delta_s + (F_{pb} + F_{pa}) \cdot \delta_d \quad (9)$$

Chaque opérateur de réseau doit définir la fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a) ainsi que le taux tolérable de défaillances primaires (R_a). Des valeurs de F_a et de R_a sont proposées dans l'Appendice II.

7 Mesures de protection

7.1 Généralités

Les éléments métalliques d'un câble à fibres optiques doivent être continus, c'est-à-dire qu'ils doivent être connectés de part et d'autre de toutes les épissures, de tous les régénérateurs, etc., se trouvant sur le chemin du câble. Ces éléments métalliques doivent être connectés à la barre d'équipotentialité (E.B.B.), soit directement soit par l'intermédiaire d'un dispositif SPD, aux extrémités du câble (voir Figure 3).

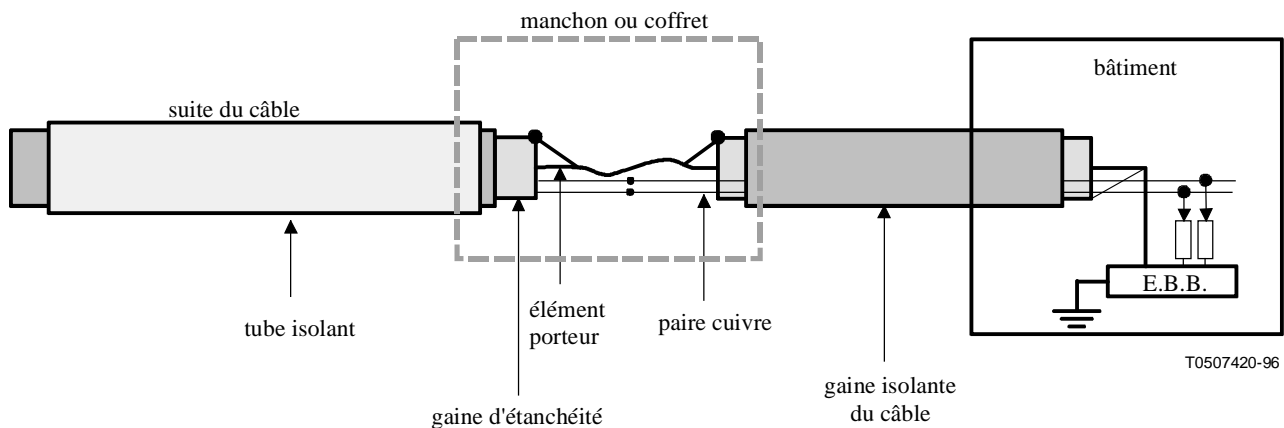


Figure 3/K.25 – Exemple de connexion d'éléments métalliques

Si la barre E.B.B. du bâtiment abonné n'est pas disponible, les éléments métalliques du câble à fibres optiques doivent être connectés à une barre E.B.B. spéciale, située à l'intérieur de la terminaison de réseau optique.

Dans le cas des câbles à fibres optiques avec éléments métalliques, les mesures de protection suivantes sont habituellement prises en considération:

- utilisation de câbles diélectriques ou non métalliques;
- choix du type de câble pour pose aussi bien enterrée qu'aérienne;
- utilisation de fils de garde pour les câbles enterrés;
- mise à la terre de la gaine métallique sur le chemin des câbles aériens (voir 5.2);
- redondance de routage pour les câbles aussi bien enterrés qu'aériens;
- utilisation de parasurtensions pour la protection des paires métalliques des câbles enterrés comme aériens.

NOTE 1 – Pour l'utilisation de parasurtensions sur des paires métalliques, voir la référence [2].

NOTE 2 – La mise à la terre de la gaine métallique sur le chemin des câbles enterrés ayant des éléments métalliques dans l'âme isolée de câble n'est pas prise en considération parce que l'efficacité de cette mesure de protection est négligeable en termes de réduction de la fréquence de défaillances primaires.

NOTE 3 – Les câbles cheminant vers des structures exposées peuvent devoir être protégés par des mesures de protection additionnelles (voir référence [3] et Bibliographie [2]).

7.2 Câbles diélectriques ou non métalliques

L'utilisation de câbles diélectriques ou non métalliques empêchera l'endommagement du câble à cause de la foudre.

NOTE 1 – Un câble aérien non métallique n'est pas directement dommageable par la foudre. En fait, il n'y a à ce jour aucune expérience d'un tel dommage.

NOTE 2 – Pour les câbles enterrés, la résistance diminuée du câble à la pénétration de l'humidité et la difficulté posée par leur localisation au cours d'activités ultérieures de maintenance sont à prendre en considération. Par ailleurs, des câbles métalliques posés dans la même tranchée peuvent être touchés par des impacts de foudre directs qui pourront donc détruire également le câble optique (de tels dommages ne sont, à ce jour, pas connus). Le même type de problème peut apparaître lorsqu'un câble non métallique est assorti d'un conducteur métallique (servant à localiser le câble optique).

7.3 Choix des caractéristiques du câble pour installations aussi bien enterrées qu'aériennes

Chaque type de câble a sa propre valeur spécifique de courant de défaillance (I_a) qui est évaluée comme indiqué au paragraphe 5. Le choix du type de câble implique une valeur spécifique du courant de défaillance (I_a). La valeur de la fréquence de défaillances primaires peut être calculée, comme indiqué dans l'Annexe A, en proportion inverse de la valeur de I_a .

7.4 Utilisation d'un fil de garde pour les câbles enterrés

La probabilité d'endommagement des câbles enterrés peut être réduite par l'utilisation de fils de garde. Ceux-ci interceptent une partie du courant de choc et diminuent donc l'intensité du courant touchant le câble. Pour des fils de garde correctement installés, la valeur du facteur d'écran, notée par η , implique que $100\eta\%$ du courant de choc passe par la gaine du câble. Les valeurs du facteur d'écran peuvent être calculées par la méthode indiquée dans l'Appendice I.

L'amélioration de la fréquence de défaillances primaires (F_p) due aux fils de garde peut se calculer comme suit:

$$F_p = N_d \cdot p \left(\frac{I_a}{\eta} \right) \quad (10)$$

où:

N_d est l'espérance mathématique annuelle du nombre d'impacts directs de foudre sur le câble (voir Annexe A);

p est la probabilité que le courant de foudre crête soit égal ou supérieur à I_a/η (voir Annexe A);

I_a courant de défaillance (voir paragraphe 5);

η facteur d'écran (voir Appendice I).

7.5 Redondance de routage

La disponibilité globale du service peut être améliorée par l'implémentation d'une redondance de routage au moyen d'un deuxième routage parallèle qui peut être requis pour d'autres raisons comme la nécessité d'augmenter les ressources. Dans ce cas, la méthode présentée dans la Bibliographie [1] peut aider à déterminer la meilleure séparation des routages pour améliorer la disponibilité globale du service pour les câbles enterrés et aériens.

ANNEXE A

Fréquence des défaillances primaires

A.1 Câbles enterrés

La fréquence des défaillances primaires pour les câbles enterrés (F_{pb}) est estimée par l'équation suivante:

$$F_{pb} = N_d \cdot p(I_a) \quad [\text{dommages/an}] \quad (A-1)$$

où:

p est la probabilité que le courant de foudre de crête soit égal ou supérieur à I_a , ce qui est exprimé par l'équation suivante:

$$p(i) = 10^{-2} \cdot e^{(a-bi)} \quad \text{pour } i \geq 0 \quad (i \text{ en kilo-ampères}) \quad (A-2)$$

où:

$a = 4,605$ et $b = 0,0117$ pour $i < 20$ kA

$a = 5,063$ et $b = 0,0346$ pour $i \geq 20$ kA

I_a est le courant de défaillance [kA]

N_d est la fréquence d'impacts directs de foudre, calculée par l'équation suivante:

$$N_d = K_d \cdot N_g \cdot K_e \cdot 2DL/1000 \text{ [chocs/an]} \quad (\text{A-3})$$

où:

K_d est le facteur de sécurité contre les dommages

NOTE – Afin d'obtenir une évaluation prudente de la distance d'amorçage, le facteur de sécurité contre les dommages doit être choisi égal à 2,5. Sinon, il peut être mis à 1.

N_g est la densité d'impacts de foudre au sol exprimée en termes d'impacts au sol par kilomètre carré et par an; si la valeur de N_g n'est pas disponible, elle peut être estimée au moyen de la relation suivante (qui varie en fonction des changements de conditions climatiques):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (\text{A-4})$$

où:

T_d est le niveau kéraunique de la région

K_e est le facteur environnemental (voir Appendice III)

L est la longueur de la ligne en kilomètres

D est la distance d'amorçage calculée en mètres au moyen des équations suivantes:

$$D = 0,482 \rho^{1/2} \text{ [m]}; \text{ pour } \rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-5})$$

$$D = 0,283 \rho^{1/2} \text{ [m]}; \text{ pour } \rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-6})$$

$$D = 0,191 \rho^{1/2} + 2,91 \text{ [m]}; \text{ pour } 100 \Omega \cdot \text{m} < \rho < 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-7})$$

où:

ρ est la résistivité du sol en $\Omega \cdot \text{m}$. Cette valeur peut être extraite de tables de résistivité du sol ou être mesurée.

A.2 Câbles aériens

La fréquence d'impacts de foudre directs (N_d) pour un tronçon de câble aérien (L) peut être calculée comme suit:

$$N_d = N_g \cdot A_e \quad (\text{A-8})$$

$$A_e = 6 \cdot K_e \cdot H \cdot L / 1000 \quad (\text{A-9})$$

où:

A_e est l'aire de collecte de foudre équivalente en km^2

K_e est le facteur environnemental (voir Appendice III)

H est la hauteur de la ligne en mètres

La fréquence F_{pa} est évaluée par multiplication de la fréquence d'impacts de foudre directs (N_d) par la probabilité du courant de défaillance (I_a) dans les câbles aériens:

$$F_{pa} = N_d \cdot p(I_a) \text{ de défaillances primaires/an} \quad (\text{A-10})$$

où:

p est la probabilité que le courant de foudre de crête soit égal ou supérieur à I_a [voir équation (A.2)];

I_a est le courant de défaillance [kA].

A.3 Câbles pénétrant dans une structure exposée aux impacts de foudre directs

Le courant de foudre d'un impact direct sur une structure exposée s'écoule dans le système de mise à la terre de la structure et dans les services entrant dans celle-ci. Une partie du courant de foudre pénètre donc dans la connexion et dans la gaine du câble à fibres optiques.

Ce courant peut provoquer des défaillances primaires lorsqu'il est supérieur au courant de claquage de gaine (I_s) ou au courant d'arc vers des éléments de connexion (I_c).

Par conséquent, la fréquence des défaillances primaires (F_{ps}) est estimée au moyen de l'équation suivante:

$$F_{ps} = N_d \cdot p(I) \quad (\text{A-11})$$

où:

N_d est la fréquence d'impacts directs de foudre sur la structure exposée et sur des structures adjacentes, calculée selon la référence [3].

I est la valeur de crête du courant de foudre frappant la structure et provoquant un courant de claquage de gaine (I_s) ou le courant d'arc vers des éléments de connexion (I_c), dans la gaine ou dans la connexion du câble selon le cas. Ce courant de foudre (I) est estimé en supposant que 50% du courant de foudre frappant la structure exposée s'écoule dans le système de mise à la terre de la structure et que l'autre moitié de cette intensité est partagée entre plusieurs services pénétrant dans la structure.

$p(I)$ probabilité que la valeur de crête du courant de foudre touche la structure exposée. Cette probabilité est évaluée selon l'équation (A-2).

ANNEXE B

Courant de claquage de gaine

B.1 Câble enterré

Le courant de claquage de gaine (I_s) d'un câble à éléments métalliques dans l'âme isolée et avec une seule gaine métallique avec ou sans revêtement isolant de protection peut être estimé par l'équation suivante:

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

où:

$K = 8 [(m/\Omega)^{0.5}]$, valeur du facteur de forme d'onde pour le courant de foudre (onde de choc de forme 10/350 μs)

R est la résistance linéique de la gaine [Ω/km]

U_b est la tension de claquage [V] du câble, évaluée par l'essai indiqué en C.2

ρ est la résistivité du sol ($\Omega.m$)

B.2 Câble aérien

Les défaillances primaires dans les câbles à fibres optiques des routages aériens peuvent se produire lorsque du métal est présent dans la gaine et dans l'âme isolée du câble. Le courant de foudre dans la gaine peut provoquer un claquage entre celle-ci et l'âme isolée. Un endommagement des fibres est possible si celles-ci sont proches ou sur le chemin de l'arc résultant. La méthode indiquée ci-dessous part du principe que la tension de claquage entre l'âme isolée et la gaine métallique est connue.

B.2.1 Câble aérien sans prises de terre sur la gaine métallique

Lorsque la foudre touche un câble aérien, un grand pourcentage du courant de foudre (J) s'amorce à la terre.

Le courant de claquage de gaine (I_s) est évalué comme suit, dans l'hypothèse d'un câble long (voir Bibliographie [3]):

$$I_s \cong \frac{U_b}{\Phi \cdot R} \quad [\text{kA}] \quad (\text{B-2})$$

où:

$\Phi = 2000$ [m] est le facteur de forme

Le courant de foudre (J) peut être estimé par l'équation suivante (voir Bibliographie [4]):

$$J = 4 \frac{I_s^2}{k} \quad (\text{B-3})$$

où:

$$k = rE_0 / S^2$$

E_0 est le gradient de tension de claquage à la surface du sol, de valeur approximativement égale à 250 kV/m pour $\rho \leq 100 \Omega.m$ et 500 kV/m pour $\rho \geq 1000 \Omega.m$

S est l'impédance d'onde de la gaine (égale à environ 400 Ω pour un câble aérien; voir Bibliographie [1] et [4] pour une évaluation plus précise)

B.2.2 Câble aérien avec prises de terre sur la gaine métallique

Le courant de claquage de gaine (I_s) est, pour une tension de claquage donnée, évalué par l'équation suivante:

$$I_s \cong \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho_e^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{B-4})$$

où:

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

$$\rho_e = \frac{\pi d \cdot R_g}{\ln\left(2 \cdot \frac{H}{a}\right)} \quad (B-5)$$

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_g est la résistance des prises de terre en ohms

ANNEXE C

Essais de résistance aux surintensités

C.1 Généralités

Les essais décrits dans la présente annexe ne conviennent que pour l'évaluation des risques associés au foudroyage dans les installations à fibres optiques. Ils ne sont pas applicables à l'homologation d'un modèle de câble. Ils ne doivent pas être répétés à moins que les caractéristiques de construction du câble ne soient notablement modifiées. 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 construction.

La génératrice de tension pour l'essai de tension de claquage doit avoir une tension à circuit ouvert présentant une forme d'onde de 1,2/50 μs . La génératrice de courant pour l'essai de résistance aux surintensités des câbles à fibres optiques est à l'étude. Les formes d'onde de courant suivantes, mesurées avec l'échantillon en place, sont suggérées:

- courant à forme d'onde suivant une loi de dédoublement à double exponentielle avec un temps de montée de 10 μs et une durée jusqu'à mi-valeur de 350 μs (forme d'onde 10/350 μs);
- courant à oscillations amorties avec une valeur maximale de durée jusqu'à la crête de 15 μs et une fréquence maximale de 30 kHz. La durée jusqu'à la mi-valeur de son enveloppe d'onde doit être comprise entre 40 μs et 70 μs .

Pour les essais décrits en C.3, C.4 et C.5, l'apparition d'une défaillance primaire est détectée par au moins un des phénomènes suivants:

- rupture d'une ou plusieurs fibres optiques;
- augmentation inacceptable de l'affaiblissement optique d'une fibre;
- interruption de l'alimentation distante si l'équipement est alimenté par des conducteurs métalliques situés dans le câble optique.

C.2 Essai de tension de claquage

Un échantillon de câble d'une longueur de 5 m est utilisé pour l'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 décollée des autres éléments

conducteurs. L'extrémité de la gaine doit être traitée de façon à reproduire, aussi fidèlement que possible, les conditions d'une installation réelle. Une génératrice de surtensions doit être placée entre les 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 provoquant un claquage.

C.3 Essai de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion

Un échantillon de câble de 1 m de longueur est utilisé pour cet essai. La ou les gaines et les membres porteurs métalliques situés à une extrémité du câble doivent être reliés électriquement de façon à former une borne unique. A l'autre extrémité de l'échantillon de câble, une autre borne doit être constituée de la même façon. Une génératrice de surintensités doit être placée entre les deux bornes (Figure C.1). L'intensité d'épreuve est mesurée au cours de l'essai. Après l'application d'intensités par échelons croissants en amplitude, l'échantillon est soumis à un contrôle de perte d'aptitude au fonctionnement conformément à C.1. Cet essai détermine un seuil de surintensité provoquant une défaillance primaire.

C.4 Essai au bac à sable pour câbles enterrés

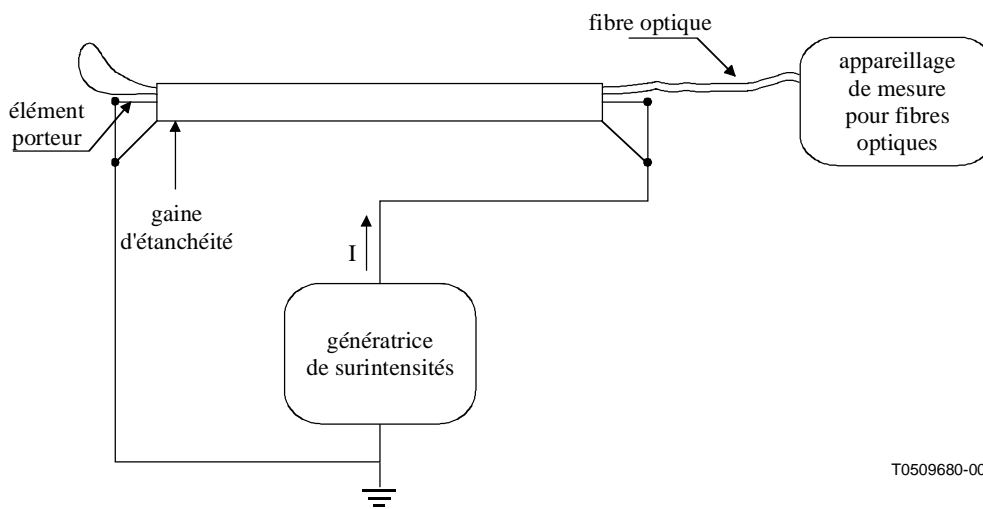
Un échantillon de câble de 1 m de longueur doit être immergé dans du sable humide contenu dans un bac rigide non conducteur ayant une longueur d'au moins 0,75 m dans toutes ses dimensions linéaires internes (Figure C.2). Ce bac doit comporter deux orifices inférieurs pour l'écoulement de l'eau, d'environ 25 mm de diamètre. Le sable doit être en silice d'une granulométrie de 20 à 40. Il doit être totalement saturé pendant une durée maximale de 8 heures 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% en masse. Une électrode de décharge doit être placée près du centre du bac à sable, à une distance de 26 ± 1 mm de l'échantillon. La ou les gaines et les membres porteurs métalliques contenus dans le câble doivent être reliés électriquement les uns aux autres de façon à former une seule borne et une génératrice de courant doit être connectée entre cette borne et l'électrode de décharge (Figure C.2). De façon à 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 de la génératrice d'essai ne peut amorcer dans l'intervalle d'air, un fil fin doit relier 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 perte d'aptitude au fonctionnement conformément à C.1. Cet essai détermine un seuil de surintensité provoquant une défaillance primaire.

C.5 Essai pour câbles aériens

Un échantillon de câble de 1 mètre de longueur est tendu conformément aux spécifications du constructeur. Une électrode de décharge est placée près de l'échantillon, à une distance de 26 ± 1 mm. La ou les gaines et les membres porteurs métalliques contenus dans le câble doivent être reliés électriquement de façon à former une seule borne et une génératrice de courant est connectée entre cette borne et l'électrode de décharge.

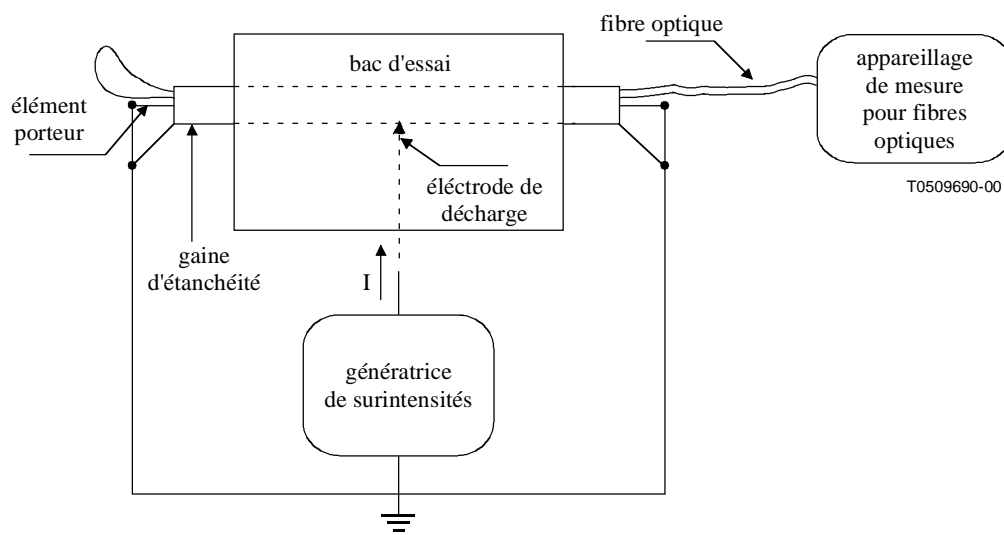
De façon à permettre au courant d'épreuve de passer dans l'échantillon, tout revêtement isolant éventuel sur la gaine métallique extérieure doit être ouvert avec un outil de 1 mm de diamètre de façon à former une petite entaille ou un trou en face de l'électrode de décharge. Si la tension de la génératrice d'essai ne peut pas amorcer dans l'intervalle d'air, un fil fin doit relier 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 perte d'aptitude au fonctionnement conformément à C.1. Cet essai détermine un seuil de surintensité provoquant une défaillance primaire.



NOTE – Toutes les fibres optiques du câble seront testées après l'essai de résistance au courant.

Figure C.1/K.25 – Schéma de l'essai de résistance aux surintensités des éléments d'interconnexion



NOTE – Toutes les fibres optiques du câble seront testées après l'essai de résistance au courant.

Figure C.2/K.25 – Schéma de l'essai de résistance aux surintensités

APPENDICE I

Facteur d'écran

I.1 Facteur d'écran pour un seul fil de garde

Lorsqu'il n'y a qu'un seul fil de garde, le facteur d'écran est donné par la relation suivante:

$$\eta = \ln(x/s) / \ln(x^2/sr) \quad (\text{I-1})$$

où [voir Figure I.1 (a)]:

x est la distance entre les axes du câble et le fil de garde

r est le rayon de la gaine

s est le rayon du fil de garde

Les Tableaux I.1 et I.2 donnent les valeurs du facteur d'écran pour différents diamètres de conducteur et différents espacements. Ces tableaux permettent de constater que le facteur d'écran pour un seul fil de garde est dans l'étendue de 0,5 à 0,7. Il faut noter qu'un fil de garde posé sur un câble enterré a également la fonction de protéger le câble contre un endommagement mécanique dû à un creusage accidentel.

Tableau I.1/K.25 – Facteur d'écran pour r = 10 mm

x(m)	s = 2 mm	s = 3 mm	s = 5 mm	s = 8 mm	s = 12 mm
0,15	0,61	0,59	0,56	0,52	0,48
0,25	0,60	0,58	0,55	0,52	0,49
0,50	0,59	0,57	0,54	0,51	0,49
1,00	0,57	0,56	0,53	0,51	0,49

Tableau I.2/K.25 – Facteur d'écran pour r = 20 mm

x(m)	s = 2 mm	s = 3 mm	s = 5 mm	s = 8 mm	s = 12 mm
0,15	0,68	0,65	0,62	0,59	0,55
0,25	0,65	0,63	0,60	0,57	0,54
0,50	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54
1,00	0,61	0,60	0,58	0,55	0,53

I.2 Facteur d'écran pour fils de garde multiples

Lorsque le nombre de fils de garde augmente, les équations deviennent plus complexes, de sorte qu'il est plus utile de les calculer d'avance afin de construire quelques tableaux avec des valeurs applicables. Les rayons du câble et du fil de garde sont tenus constants, avec les valeurs suivantes: r = 10 mm et s = 5 mm. L'effet des variations de ces paramètres est petit et peut être estimé d'après les Tableaux I.1 et I.2. Le Tableau I.3 indique des valeurs de facteur d'écran pour deux fils de garde disposés sur le périmètre d'un cercle autour du câble, l'angle g étant mesuré par rapport au plan vertical [voir Figure I.1 (b)]. L'on peut constater que la distance x entre les fils de garde et le câble a peu d'effet sur le facteur d'écran. Pour les autres tableaux, cette valeur est maintenue constante à x = 0,25 m.

Tableau I.3/K.25 – Facteur d'écran pour deux fils disposés sur le périmètre d'un cercle autour du câble

x(m)	g = 30°	g = 45°	g = 60°	g = 90°
0,15	0,38	0,36	0,34	0,33
0,25	0,38	0,35	0,34	0,33
0,50	0,37	0,35	0,34	0,33
1,00	0,37	0,35	0,34	0,33

Le même calcul a été effectué pour trois fils disposés sur le périmètre d'un cercle autour du câble, l'angle g étant mesuré par rapport au plan vertical [voir Figure I.1 (c)]. Les valeurs sont indiquées dans le Tableau I.4, où x = 0,25 m.

Tableau I.4/K.25 – Facteur d'écran pour trois fils disposés sur le périmètre d'un cercle autour du câble

g = 30°	g = 60°	g = 90°	g = 120°
0,33	0,26	0,23	0,22

Le Tableau I.5 montre les résultats lorsque plusieurs fils sont disposés symétriquement sur le périmètre d'un cercle autour du câble [voir Figures I.1 (d), I.1 (e) et I.1 (f)]. La variable n indique le nombre de fils et x = 0,25 m.

Tableau I.5/K.25 – Facteur d'écran pour n fils disposés symétriquement sur le périmètre d'un cercle autour du câble

n = 4	n = 6	n = 8
0,16	0,09	0,06

I.3 Longueur minimale des fils de garde enterrés

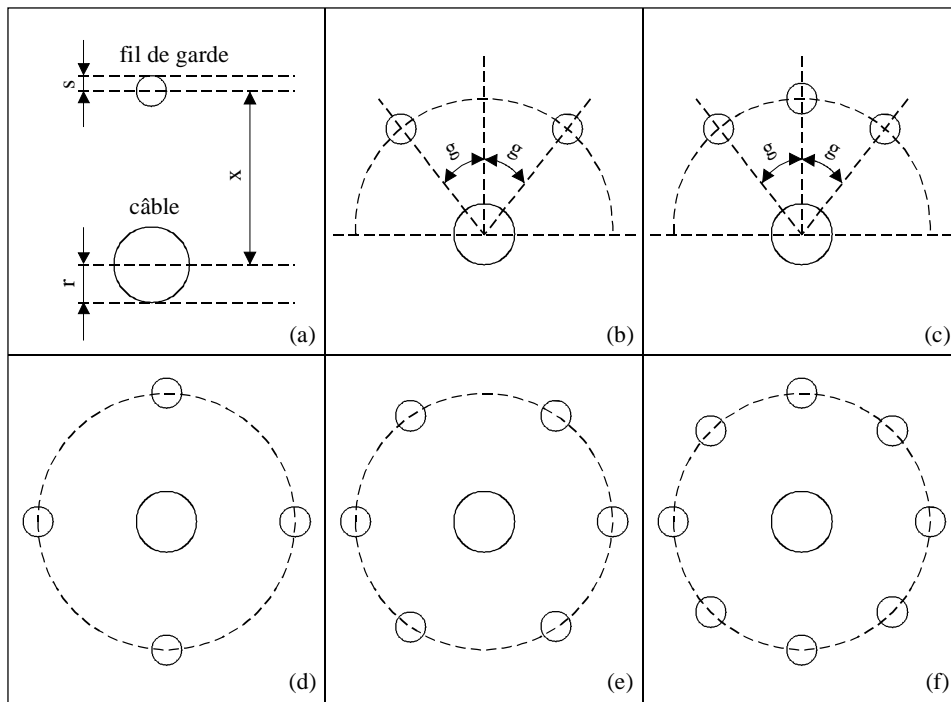
Pour protéger une ligne de télécommunication en environnement exposé, un fil de garde enterré doit suivre le câble dans tous les tirages du tronçon exposé. Ce fil doit également se prolonger au-delà d'un tel tronçon sur une longueur Y. La même procédure s'applique à la protection de lignes entrant dans des structures exposées, où le fil de garde doit suivre le routage du câble sur une longueur Y à partir de la structure exposée. Les fils de garde doivent évidemment être raccordés électriquement à la gaine du câble et au système de mise à la terre de la structure.

La longueur Y peut être évaluée par l'équation (I-2):

$$Y \geq 5 \cdot (\rho)^{1/2} \quad [\text{m}] \quad (\text{I-2})$$

où:

ρ est la résistivité du sol en $\Omega \cdot \text{m}$.



T0508870-99

Figure I.1/K.25 – Configurations des fils de garde

APPENDICE II

Fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a)

Les dommages causés par la foudre dans des installations à fibres optiques peuvent se traduire par une perte inacceptable de fourniture de services 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 réelle de la fréquence de défaillances primaires (F_p) dans l'installation à fibres optiques et la valeur limite de la fréquence tolérable de défaillances primaires (F_a) qui est fixée par chaque opérateur de réseau.

La valeur F_a peut être estimée par l'équation suivante:

$$F_a = \frac{R_a}{\delta} \quad (\text{II-1})$$

où:

R_a est le taux tolérable de défaillances primaires

δ est la grandeur relative des pertes escomptées par dommage

Les valeurs suivantes de R_a et de δ sont suggérées:

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

$$R_a = 10^{-4}$$

Donc:

$$F_a = 0,1$$

APPENDICE III

Facteur environnemental (K_e)

L'évaluation du facteur K_e doit être effectuée sur la base des paramètres de construction typiques de la région considérée:

- zone urbaine avec bâtiments élevés (plus de 6 étages): $K_e = 0,01$
- zone urbaine avec bâtiments moyens (entre 3 et 6 étages): $K_e = 0,1$
- zone suburbaine avec maisons (de 1 ou 2 étages): $K_e = 0,5$
- zone rurale avec constructions (sol plat): $K_e = 1$
- zone rurale sans constructions (sommet de colline): $K_e = 2$

APPENDICE IV

Bibliographie

- [1] *The protection of telecommunication lines and equipment against lightning discharges. Chapter 9: Fibre optic cable lightning damage assessment*, UIT, 1994.
- [2] *The protection of telecommunication lines and equipment against lightning discharges* – UIT, 1974 et 1978.
- [3] UNGAR (S.G.): Effects of lightning punctures on the core-shield voltage of buried cable, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 59, No. 3, mars 1980.
- [4] SUNDE (E.): Earth conduction effects in transmission system, *Dover Publications, Inc.*, New York.
- [5] BENDAYAN (J.): Câbles résistant aux dommages causés par la foudre, *Cables & Transmission*, Octobre 1972.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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

18295

Imprimé en Suisse
Genève, 2000