



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.18

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

**MÉTHODE DE CALCUL DES TENSIONS
INDUITES PAR LES ÉMISSIONS
RADIOÉLECTRIQUES ET MÉTHODE
DE RÉDUCTION DES PERTURBATIONS**

Recommandation UIT-T K.18

(Extrait du *Livre Bleu*)

NOTES

1 La Recommandation K.18 de l'UIT-T a été publiée dans le tome IX du Livre Bleu. Ce fichier est un extrait du Livre Bleu. La présentation peut en être légèrement différente, mais le contenu est identique à celui du Livre Bleu et les conditions en matière de droits d'auteur restent inchangées (voir plus loin).

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

© UIT 1988, 1993

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.

**MÉTHODE DE CALCUL DES TENSIONS INDUITES PAR LES ÉMISSIONS
RADIOÉLECTRIQUES ET MÉTHODE DE RÉDUCTION DES PERTURBATIONS**

(Genève, 1980; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984 et à Melbourne, 1988)

1 Introduction

De façon générale, il est rare qu'on observe dans les circuits en câbles enterrés ou souterrains des perturbations causées par l'effet inducteur d'ondes radioélectriques. En revanche, on a signalé à maintes reprises des cas de perturbations de ce type dans les circuits en lignes aériennes, en câbles aériens ou en câbles placés à l'intérieur des bâtiments.

Des perturbations sur les circuits à fréquences vocales se produisent parce que l'onde radioélectrique induite est détectée et démodulée par les composants non linéaires de l'appareil téléphonique ou par la couche d'oxyde métallique qui se forme aux épissures des conducteurs. Cette perturbation consiste principalement en un bruit intelligible et, selon les rapports, elle se produit jusqu'à environ 5 km d'une station radioélectrique dont la puissance rayonnée dépasse plusieurs dizaines de kilowatts.

Sur les circuits de transmission à courants porteurs ou sur les circuits de transmission d'un signal vidéo, l'onde radioélectrique induite dégrade directement la qualité de fonctionnement du circuit quand sa fréquence tombe dans la gamme des fréquences d'exploitation du système de transmission. Cette perturbation se traduit habituellement par un son de fréquence pur dans une voie téléphonique, et elle est inintelligible. Elle provoque une dégradation du rapport signal/bruit (S/B) du système de transmission et se produit dans un rayon important autour de la station radioélectrique. On connaît peu d'exemples de perturbations causées aux circuits de transmission d'un signal vidéo, mais ce problème est appelé à prendre de l'importance à mesure que les services de transmission de signaux vidéo deviendront plus nombreux.

Un exemple peu fréquent de perturbations causées par les courants d'ondes radioélectriques induites est celui de brûlures perçues par le personnel chargé de la maintenance des installations extérieures. De tels inconvénients n'ont été constatés qu'à proximité immédiate de l'antenne d'une station radioélectrique.

2 Analyse des perturbations

Pour procéder à l'analyse théorique de la tension induite par une onde radioélectrique, on admet les conditions suivantes:

- la résistivité du sol est homogène et uniforme;
- un câble ou un fil est tendu en ligne droite à hauteur constante au-dessus du sol;
- l'écran métallique du câble est mis à la terre aux deux extrémités;
- le champ électrique de l'onde radioélectrique a une intensité constante et un angle d'incidence constant et les variations de phase le long du câble sont uniformes;
- l'onde radioélectrique est à l'origine polarisée verticalement mais, au cours de sa propagation à la surface du sol, une composante horizontale apparaît par suite de la conductivité du sol de valeur finie.

Les constantes et les variables utilisées pour l'analyse théorique sont indiquées dans l'annexe A.

2.1 Pour les lignes de télécommunications sans écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue directement le rôle d'une force électromotrice qui s'applique à la ligne de télécommunications. Il en résulte un bruit induit aux extrémités lorsque le circuit présente un déséquilibre d'impédance par rapport au sol. Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

2.2 Pour les câbles de télécommunications avec écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue le rôle d'une force électromotrice qui donne naissance à un courant induit dans le circuit de retour par le sol, composé de l'écran métallique du câble et le sol. Sous l'action du courant qui parcourt l'écran métallique, l'impédance de transfert entre les conducteurs et l'écran métallique engendre une force électromotrice induite dans les conducteurs. Cette force électromotrice peut provoquer une perturbation sur un circuit métallique du câble, selon son degré de déséquilibre par rapport à l'écran métallique (ou au sol).

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4). La référence [1] montre que les valeurs calculées au moyen de ces formules concordent avec les valeurs mesurées.

2.3 Les formules de l'annexe B sont cependant très compliquées et font entrer en jeu de nombreux paramètres. Dans ces conditions, il est utile de pouvoir calculer approximativement la valeur maximale de la tension longitudinale induite en appliquant la formule simplifiée qui suit:

$$\begin{aligned} V_2(0) \text{ dB } [\approx V_2(l)] &= 20 \log_{10} V_2(0) \\ &= 20 \log_{10} \frac{PE_v(\cos\theta)Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300 \end{aligned} \quad (2-1)$$

où

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \quad (2-2)$$

$$20 \Omega < |Z_{1R}|, |Z_{1L}| \leq |Z_{01}| \quad (2-3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (dB/km)}$$

α_{20} est l'affaiblissement linéique à 1 MHz (dB/km)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique exprimée en Hz

Les autres constantes et variables sont indiquées dans l'annexe A.

La formule (2-1), qui donne la tension longitudinale induite maximale en dB (0 dB = 0,775 V), est obtenue à partir des éléments suivants:

La tension longitudinale induite, calculée à l'aide de la formule de l'annexe B atteint une valeur initiale de crête pour une longueur de câble,

$$l = \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8$$

et ensuite atteint une série de valeurs de crête. Sa valeur maximale apparaît à l'une des premières crêtes pour une longueur de câble,

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

La tension longitudinale induite atteint sa valeur maximale à l'une des premières valeurs de crête à cause de l'affaiblissement que subit l'onde radioélectrique induite au cours de sa propagation le long du câble (voir la figure 3/K.18).

L'erreur due à l'application de la formule (2-1), au lieu des formules rigoureuses de l'annexe B, est indiquée dans l'annexe C.

2.4 Quand la configuration de la ligne est très complexe, il faut la diviser en plusieurs tronçons et calculer pour chacun d'eux la tension longitudinale induite au moyen des formules (B-1) à (B-4). On combine ensuite les tensions induites ainsi calculées pour chaque tronçon de façon à obtenir la tension induite globale, compte tenu des caractéristiques de transmission et des conditions aux limites de la ligne considérée.

Lorsqu'on applique la formule simplifiée (2-1) à une ligne complexe, on peut utiliser un modèle correspondant à une ligne droite pour calculer la tension longitudinale induite maximale. On doit commencer les calculs au point situé le plus près de la station radioélectrique et la plus petite valeur d'angle d'incidence de l'onde radioélectrique doit être retenue pour ces calculs.

2.5 Quand le champ électrique de l'onde perturbatrice est mesuré sur le terrain, c'est cette valeur qu'on prend pour E_v dans la formule (2-1).

A défaut de mesure, la formule (2-4) fournit la valeur théorique du champ E_v en fonction de la puissance d'émission et de la distance de la station radioélectrique [2].

$$E_v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1,5 P Z_0}{2\pi}} \quad (2-4)$$

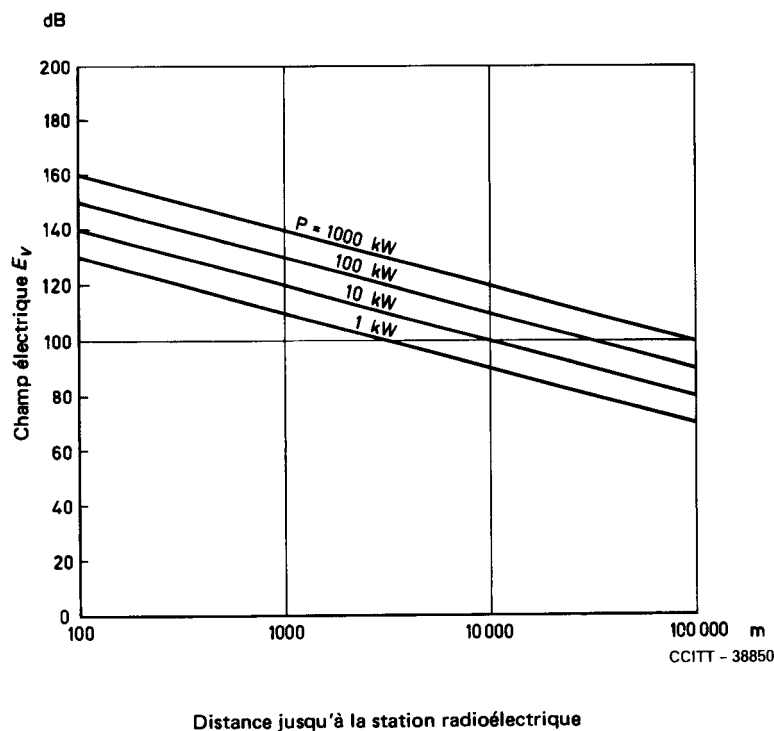
où

P est la puissance d'émission de la station radioélectrique (W)

r est la distance de la station radioélectrique (m)

Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre ($\approx 377 \Omega$)

La figure 1/K.18 montre le résultat calculé en appliquant la formule (2-4) en utilisant plusieurs valeurs de P .



Remarque – E_v est exprimé en dB (0 dB = 1 μ V/m).

FIGURE 1/K.18
**Champ électrique de l'onde radioélectrique
 en fonction de la distance jusqu'à la station**

2.6 L'angle d'incidence de l'onde radioélectrique sur la ligne de télécommunications dépend considérablement des circonstances.

Lorsque la ligne de télécommunications est installée dans une région dégagée d'obstacles, on peut utiliser comme valeur de cet angle d'incidence soit la valeur mesurée, soit la valeur calculée à partir de la position géographique relative de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications.

Quand la ligne de télécommunications est installée à proximité de constructions qui font obstacle à la propagation des ondes radioélectriques, on peut admettre que l'angle d'incidence est nul, et les conditions les plus défavorables.

2.7 On calcule comme suit la tension longitudinale induite aux extrémités d'un câble de télécommunications (voir la figure 2/K.18), à l'aide de la méthode d'estimation indiquée ci-dessus.

En insérant les valeurs des paramètres P , f , α_{20} , β_2 et θ indiquées sur la figure 2/K.18 et les valeurs calculées pour E_v et Z_K dans les formules (2-1) et (2-2), on obtient les résultats suivants:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

de plus, en utilisant $\theta = 0^\circ$ pour représenter les conditions les plus défavorables, on obtient le résultat ci-après:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

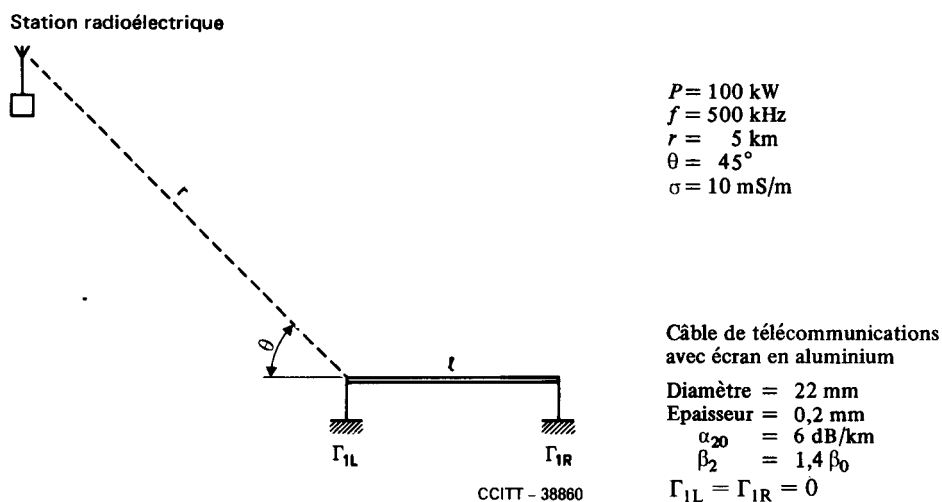


FIGURE 2/K.18

Positions relatives de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications

La figure 3/K.18 compare les résultats obtenus en utilisant la méthode de calcul simplifiée avec les résultats calculés en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B où les valeurs de V_2 sont exprimées en fonction de la longueur de câble. Il semble que la méthode simplifiée est celle qui convient le mieux pour l'estimation de la perturbation la plus forte susceptible d'apparaître.

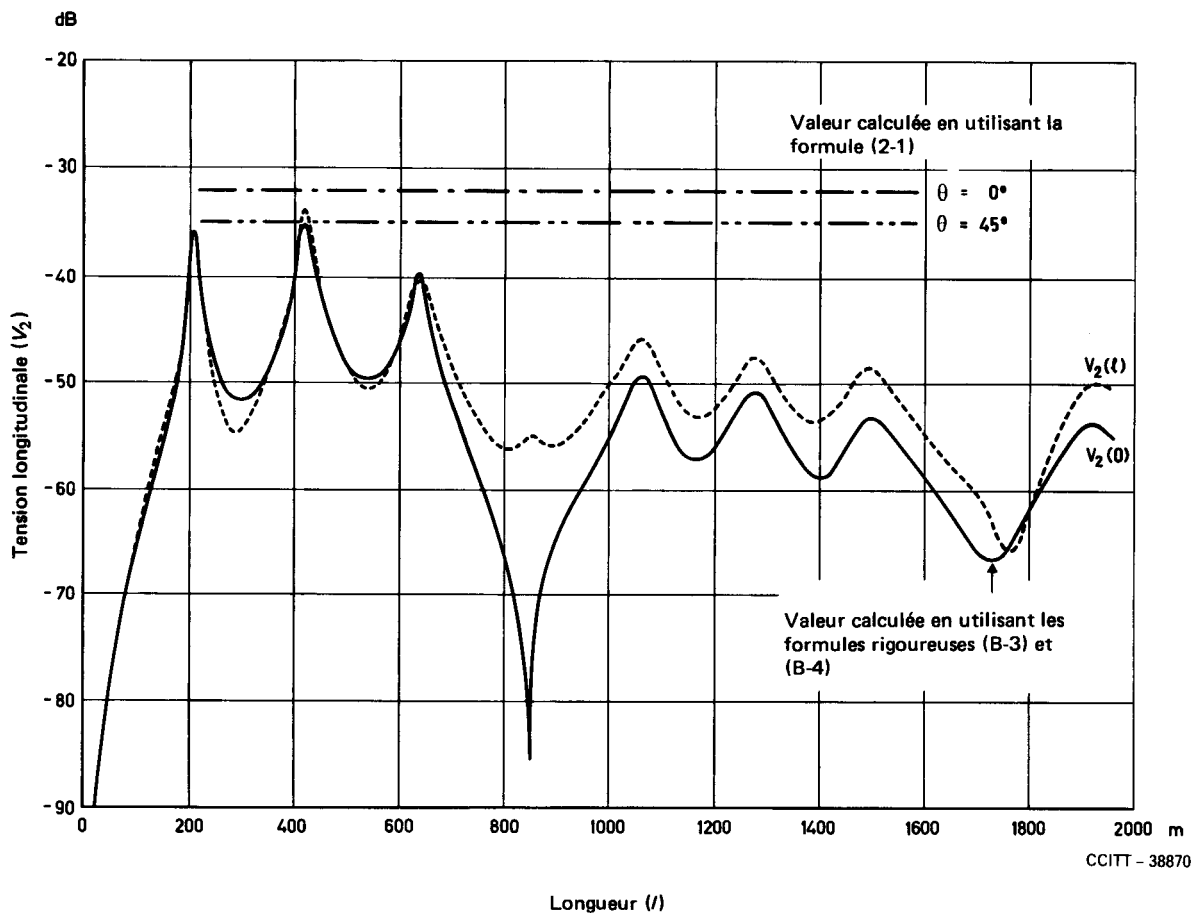


FIGURE 3/K.18
Tension longitudinale induite calculée aux extrémités du câble comme indiqué à la figure 2/K.18

2.8 Des tensions transversales qui provoquent du bruit se produisent à cause du défaut de symétrie du circuit par rapport à l'écran métallique (ou à la terre). Si le rapport λ entre les tensions longitudinale et transversale est connu, le niveau de bruit peut être obtenu à partir de la valeur calculée ou de la valeur mesurée de la tension longitudinale induite.

$$V = \lambda \cdot V_2$$

où

$V_2[V_2(0)$ ou $V_2(l)]$ est la tension longitudinale aux extrémités du circuit longitudinal à circuit ouvert,

et $V[V(0)$ ou $V(l)]$ est la tension transversale aux extrémités du circuit métallique fermé sur son impédance caractéristique à ses deux extrémités.

Par exemple, dans le cas illustré par la figure 2/K.18 et pour une valeur de λ égale à -40 dB, on obtient comme suit la valeur du niveau de bruit V :

(Dans ce cas, $V_2 = -35$ dB [0 dB = 0,775 V])

$$V = -35 - 40 \text{ dB} = -75 \text{ dB}$$

3 Réduction des perturbations

Les mesures suivantes peuvent être prises afin de réduire les perturbations:

3.1 Les perturbations causées à des circuits à fréquences vocales peuvent être réduites en insérant une capacité de 0,01 à 0,05 μF entre les conducteurs et la terre au niveau des bornes d'entrée de l'équipement terminal ou de l'appareil téléphonique, de façon à court-circuiter le courant induit par les ondes radioélectriques.

3.2 Les perturbations causées à un système de transmission à courants porteurs et à un système de transmission de signal vidéo peuvent être efficacement réduites par les mesures suivantes:

3.2.1 Un écran approprié doit être incorporé au câble, par exemple, un écran en aluminium de 0,2 mm d'épaisseur autour d'un câble assure une réduction de la perturbation d'environ 70 dB. L'écran en aluminium doit être mis à la terre aux deux extrémités, à travers une résistance de mise à la terre inférieure à $|Z_{01}| \Omega$, lorsque la conductivité du sol est elle-même inférieure à 0,1 S/m. Quand on porte de 0,2 à 1,0 mm l'épaisseur de l'écran en aluminium, l'effet réducteur est augmenté de 50 à 60 dB.

3.2.2 Au niveau des épissures et des bornes de raccordement des câbles, les conducteurs doivent être entourés d'un écran métallique complet.

Remarque – Si l'écran est supprimé sur une trentaine de centimètres, la tension induite augmente de l'ordre de 30 dB, même s'il n'est pas isolé électriquement. A l'extrémité d'un câble, si on supprime éventuellement l'écran métallique sur environ 5 cm, la tension induite augmente d'environ 10 dB.

3.2.3 Sur des sections exposées à des perturbations par des ondes radioélectriques, un câble souterrain doit être installé ou bien des trajets de pose de câble différents doivent être utilisés.

3.2.4 Les distances entre répéteurs doivent être réduites afin d'obtenir pour le système un rapport signal/bruit (S/B) acceptable.

3.2.5 Le déséquilibre d'admittance par rapport à la terre de l'équipement terminal et des répéteurs à la fréquence de l'onde radioélectrique doit être amélioré (réduction).

3.2.6 Un réglage de préaccentuation dans le système de transmission doit être utilisé.

3.3 Pour réduire les tensions induites qui présentent un danger pour le personnel de maintenance, il est possible d'insérer à intervalles appropriés des condensateurs entre les conducteurs et la terre, à l'intérieur de la section subissant la perturbation afin de court-circuiter le courant induit.

En pareils cas, il faut choisir des condensateurs de capacité appropriée pour réduire au minimum l'affaiblissement dans la gamme des fréquences de transmission tout en réalisant une mise à la terre efficace à la fréquence des ondes radioélectriques. En même temps, il faut veiller à ce que le condensateur ne soit pas endommagé par des surtensions qui pourraient apparaître sur les conducteurs.

ANNEXE A

(à la Recommandation K.18)

Constantes et variables utilisées dans la Recommandation K.18

A.1 Le rapport P entre la composante horizontale et la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique à la surface du sol est donné par la formule:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega \epsilon_0}{\sigma}} \quad (\text{A-1})$$

où

E_h est la composante horizontale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

E_v est la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

ϵ_r est la constante diélectrique spécifique du sol

ϵ_0 est la constante diélectrique de l'espace libre (F/m)

Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre (Ω)

β_0 est la constante de phase de l'espace libre (rad/m)

σ est la conductivité du sol (S/m)

ω est la pulsation de l'onde radioélectrique (rad/s)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique (Hz)

A.2 L'impédance de transfert Z_K de l'écran métallique d'une enveloppe de câble est donnée par la formule:

$$Z_K = \frac{Kt}{\sinh Kt} \cdot R_{dc} \quad \Omega / m \quad (A - 2)$$

où

R_{dc} est la résistance linéique de l'écran métallique en courant continu (Ω/m)

$$K = \sqrt{j\omega\mu g}$$

μ est la perméabilité de l'écran métallique (H/m)

g est la conductivité de l'écran métallique (S/m)

t est l'épaisseur de l'écran métallique (m)

A.3 En ce qui concerne les symboles ci-après, voir la figure A-1/K.18.

θ est l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications (rad)

l est la longueur du câble (m)

x est la distance mesurée le long du câble à partir de l'extrémité du câble proche de la station radioélectrique (m)

Z_{01} est l'impédance caractéristique du circuit de retour par le sol (Ω)

γ_1 est l'exposant de propagation du circuit de retour par le sol

Z_{02} est l'impédance caractéristique du circuit longitudinal (Ω)

γ_2 est l'exposant de propagation du circuit longitudinal

Z_{1L}, Z_{1R} sont les impédances terminales du circuit de retour par le sol (Ω)

Z_{2L}, Z_{2R} sont les impédances terminales du circuit longitudinal (Ω)

$\Gamma_{1L} = \frac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à $x = 0$

$\Gamma_{1R} = \frac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à $x = l$

$\Gamma_{2L} = \frac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à $x = 0$

$\Gamma_{2R} = \frac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}}$ est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à $x = l$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec adaptation aux deux extrémités

$V_{1m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = l$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit longitudinal avec adaptation aux deux extrémités

$V_{2m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = l$

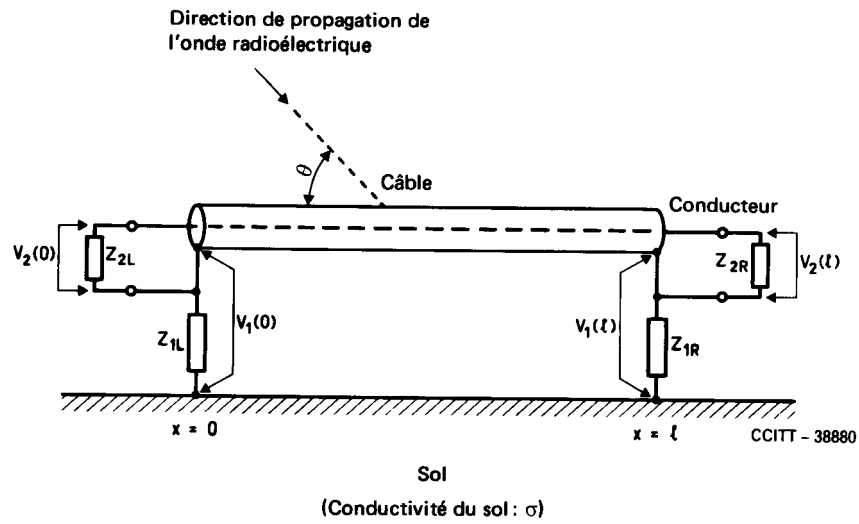


FIGURE A-1/K.18
Terminaison du circuit de retour par le sol (Z_{1L} , Z_{1R})
et du circuit longitudinal (Z_{2L} , Z_{2R})

ANNEXE B

(à la Recommandation K.18)

Calcul de la tension longitudinale induite

B.1 Lignes de télécommunications sans écran métallique

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$\left. \begin{aligned}
 V_1(0) &= V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0) \\
 V_{10}(0) &= -\frac{PE_v \cos \theta}{2} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta \cos \theta} \\
 V_{1L}(0) &= \frac{-\Gamma_{1L} [1 - \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
 V_{1R}(0) &= \frac{-\Gamma_{1R} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1L}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
 \end{aligned} \right\} \quad (B-1)$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$\left. \begin{aligned} V_1(l) &= V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l) \\ V_{10}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \\ V_{1L}(l) &= \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1R}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\ V_{1R}(l) &= \frac{-\Gamma_{1R} [1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l) \end{aligned} \right\} \quad (\text{B-2})$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

B.2 Câbles de télécommunications munis d'un écran métallique

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$\left. \begin{aligned} V_2(0) &= V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0) \\ V_{20}(0) &= -\frac{PE_v(\cos \theta) Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\ &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta} + \left. \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \right\} \cdot \right. \\ &\quad \cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \\ &\quad \cdot \left. \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right] \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\ &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\ &\quad \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0(\cos \theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right] \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \left. \right\} \quad (\text{B-3}) \\ V_{2L}(0) &= \frac{-\Gamma_{2L} [1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\ V_{2R}(0) &= \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2L}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l) \end{aligned} \right\}$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$\begin{aligned}
 V_2(l) &= V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l) \\
 V_{20}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} + \left\{ - \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \left. \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \\
 &\quad + \left\{ - \frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \\
 &\quad \cdot \left. \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \cdot \\
 &\quad \cdot \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \right] \\
 V_{2L}(l) &= \frac{-\Gamma_{2L} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2R}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(l) &= \frac{-\Gamma_{2R} [1 - \Gamma_{2L} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)
 \end{aligned} \tag{B-4}$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

ANNEXE C

(à la Recommandation K.18)

Erreur entraînée par l'application de la formule simplifiée (2-1)

La formule simplifiée (2-1) peut être utilisée lorsque $3 \text{ dB/km} \leq \alpha_{20} \leq 30 \text{ dB/km}$, $1,2 \beta_0 \leq \beta_2 \leq 3\beta_0$, $500 \text{ kHz} \leq f \leq 1,6 \text{ MHz}$, $10 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$, $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, $0,1 \text{ mS/m} \leq \sigma \leq 500 \text{ mS/m}$ et $-1 \leq \Gamma \leq 1$.

Ces conditions sont considérées comme suffisantes pour les câbles aériens.

L'erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B dépend plutôt de σ et Γ que d'autres paramètres. La figure C-1/K.18 donne un exemple de cette relation. L'erreur est indiquée dans le tableau C-1/K.18 pour les gammes de σ et Γ de la figure C-2/K.18. On ne tient compte ici que de la gamme $\Gamma_1 \geq 0$, étant donné que $|Z_1| \leq Z_{01}$ est facile à obtenir. Dans la figure C-2/K.18, la gamme (I) est le cas habituel, tandis que les gammes (II) et (IV) sont des cas peu fréquents et que la gamme (III) est difficile à réaliser. Dans une gamme où se

produit une erreur importante (par exemple, les gammes II, III et IV), ou lorsque la longueur de câble est trop courte pour satisfaire aux conditions de la formule (2-2), il est souhaitable de procéder aux calculs en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B.

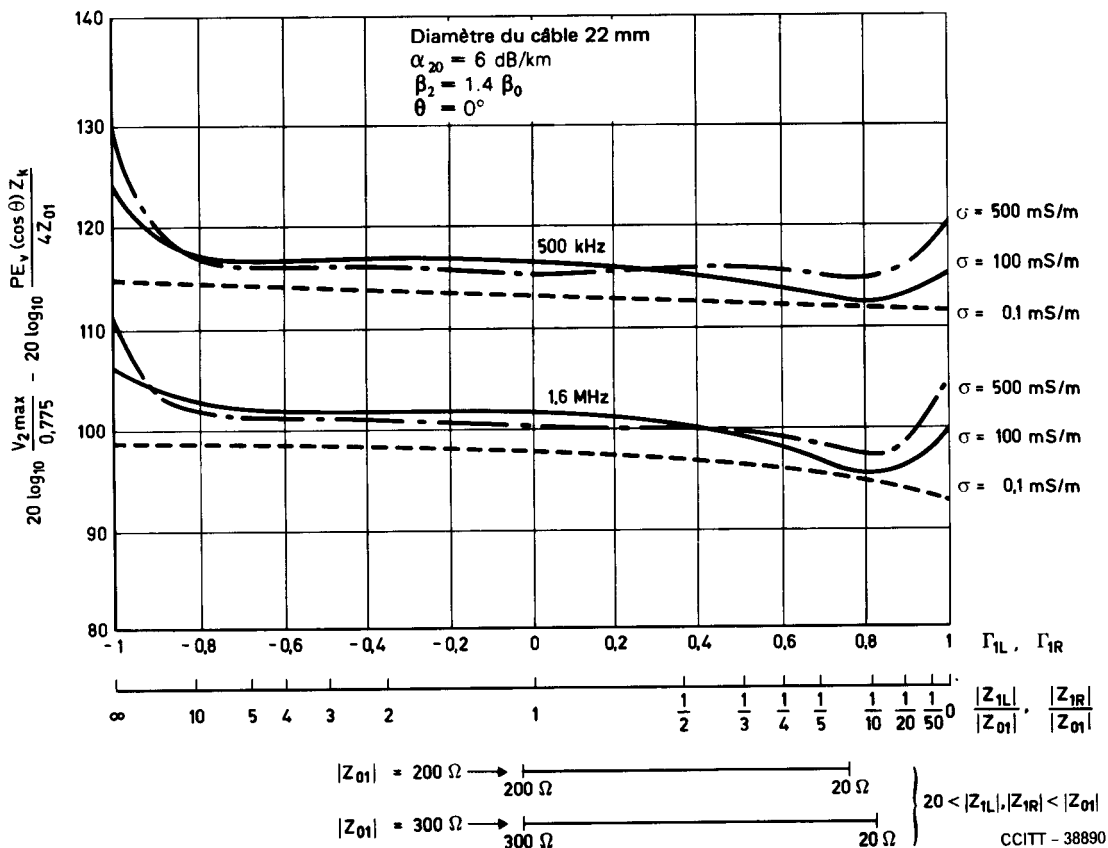


FIGURE C-1/K.18

Exemple de relation entre la tension longitudinale induite et (σ , Γ)

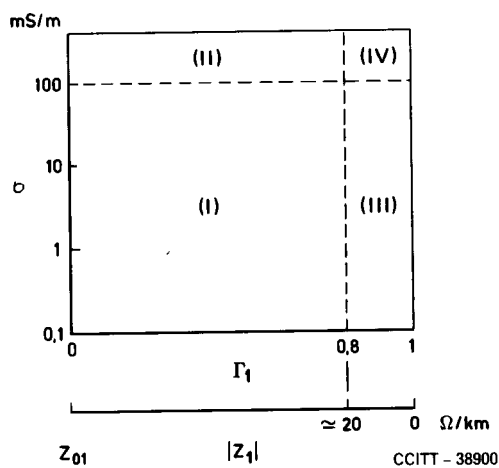


FIGURE C-2/K.18

Gammes de (σ , Γ)

TABLEAU C-1/K.18

Erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B

Gamme		Erreur
(I)	(cas habituel)	± 5 dB
(II)	(cas rare)	± 8 dB
(III)	(cas rare)	de -5 à $+15$ dB
(IV)	(cas rare)	de -5 à $+23$ dB

ANNEXE D

(à la Recommandation K.18)

Influence, sur le champ électrique mesuré de l'onde, des conditions au voisinage de la ligne de télécommunications

(Rapport de la NTT)

Le champ électrique de l'onde radioélectrique n'est pas affecté par les conditions au voisinage de la ligne de télécommunications et il est en bon accord avec la valeur prévue par la théorie (voir la figure D-1/K.18).

En revanche, ces conditions exercent une très forte influence sur l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications, mais il est très difficile d'en évaluer quantitativement les effets. Cependant, en zone dégagée, cet angle d'incidence correspond sensiblement à la valeur calculée d'après l'emplacement relatif de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications (voir la figure D-2/K.18).

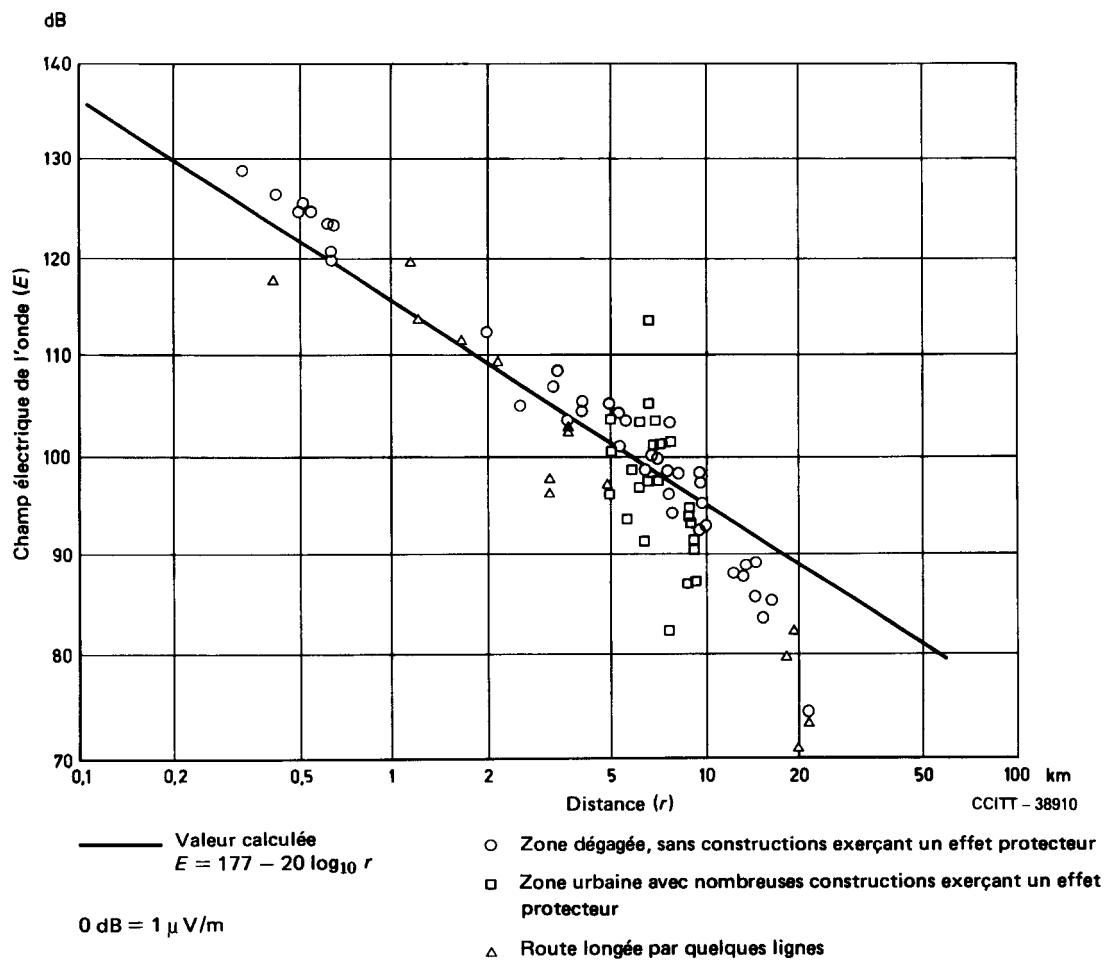


FIGURE D-1/K.18
 Rapport entre le champ électrique de l'onde et la distance (r)
 jusqu'à la station radioélectrique

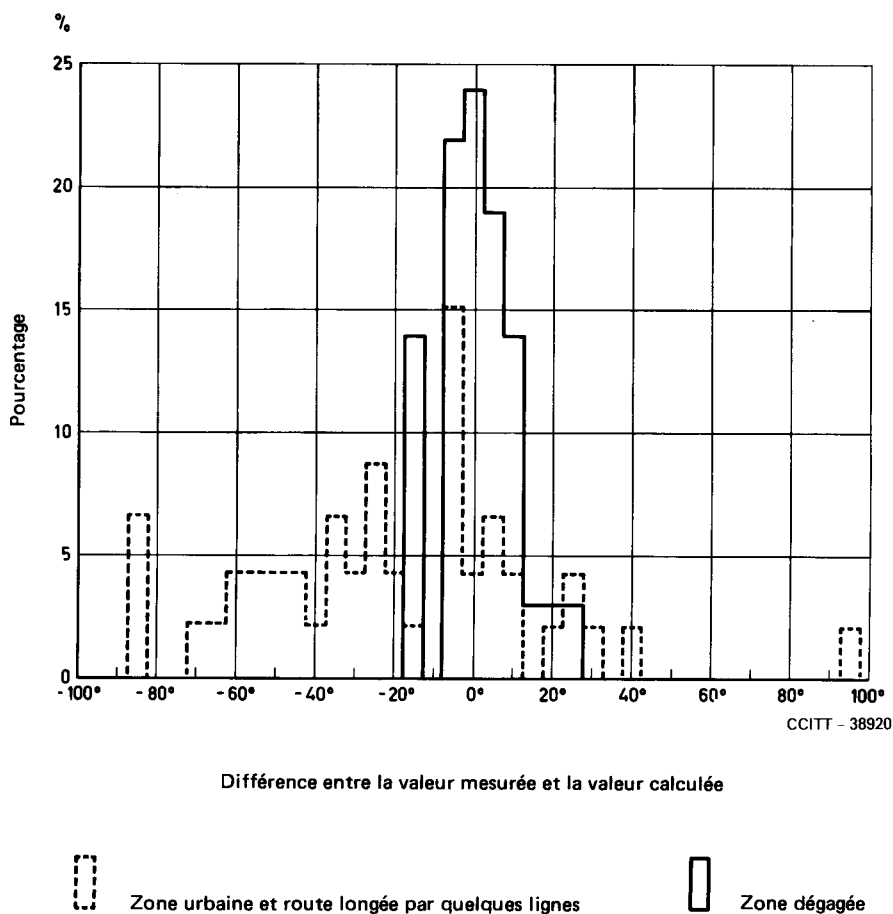


FIGURE D-2/K.18
 Histogramme de la différence entre la valeur mesurée et la valeur calculée
 de l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications

ANNEXE E

(à la Recommandation K.18)

Exemples de rapport de conversion λ entre tension longitudinale induite et tension transversale

(Rapport de la NTT)

Les tensions longitudinale et transversale (de bruit) induites par les ondes radioélectriques dans les câbles aériens ont été mesurées dans des cas concrets.

La figure E-1/K.18 donne des exemples de valeur du rapport de conversion λ établi sur la base de valeurs mesurées de la tension longitudinale V_2 et de la tension transversale V ($\lambda = V - V_2$ dB).

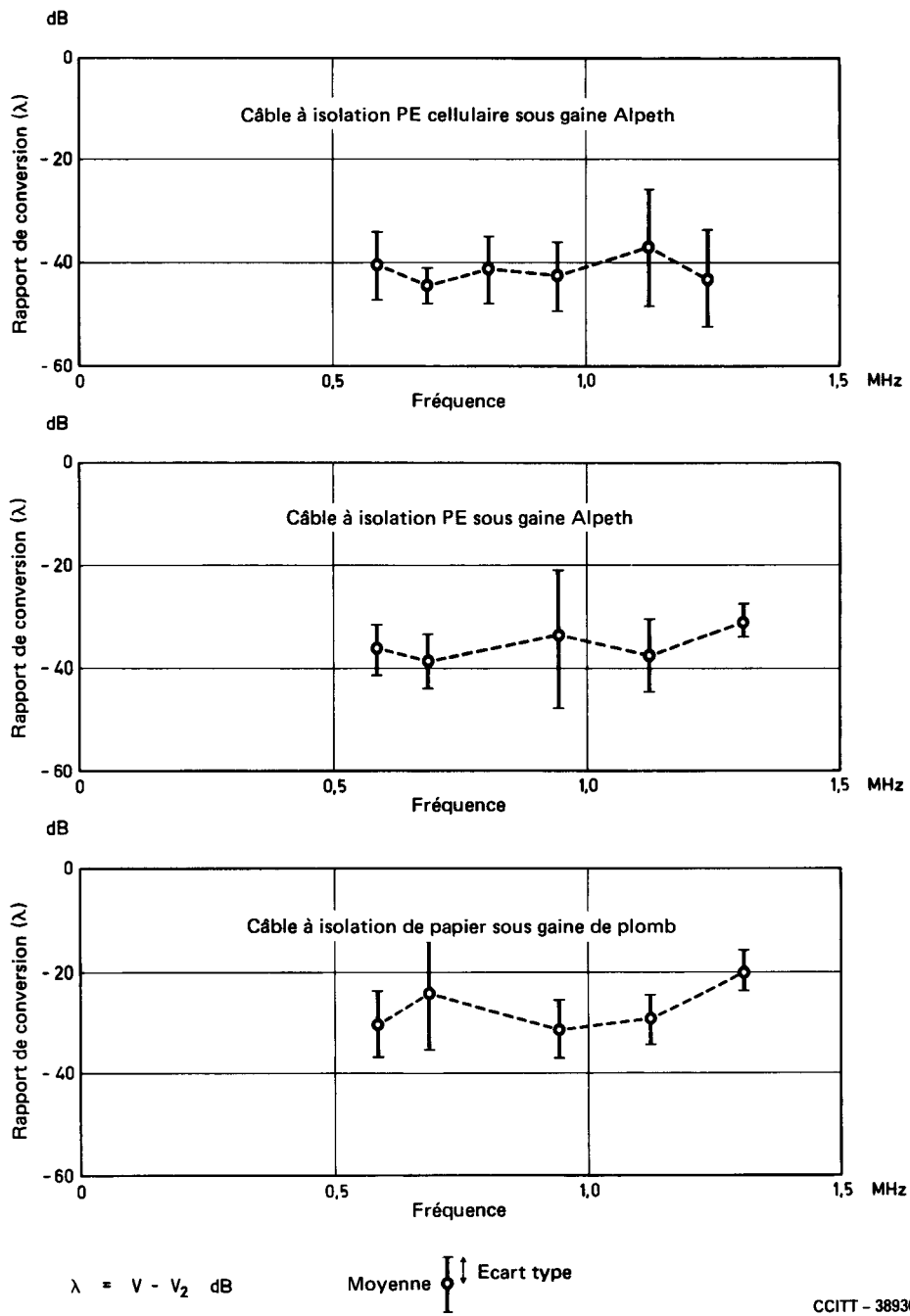


FIGURE E-1/K.18
Exemples de rapport de conversion λ

ANNEXE F

(à la Recommandation K.18)

Exemples de perturbations par une onde radioélectrique et dispositions adoptées dans divers pays

(Sur la base du rapport du Rapporteur spécial présenté à la réunion de 1978 de la Commission d'études V)

Divers exemples de perturbations par induction causées par une onde radioélectrique à divers systèmes de télécommunications sont récapitulés dans le tableau F-1/K.18, ainsi que les mesures de protection pertinentes.

Il est rare que l'on observe des perturbations par induction provoquées par une onde radioélectrique dans le cas de circuits en câbles souterrains.

TABLEAU F-1/K.18

Perturbations par inductions provoquées par une onde radioélectrique et dispositions adoptées

Nature du circuit	Onde inductrice		Zone affectée et valeur du champ électrique	Etat du circuit affecté par la perturbation	Perturbation	Mesures de protection
	Fréquence	Puissance				
Circuit à fréquences vocales	Ondes km et hm (essentiellement ondes de radio-diffusion)	supérieure à plusieurs dizaines de kW	Dans un rayon de 5 km autour de la station radio-électrique (plusieurs V/m)	<ul style="list-style-type: none"> – Câble aérien (à enveloppe essentiellement en matière plastique, avec ou sans écran métallique, ou à enveloppe en plomb) – Ligne aérienne 	Bruit démodulé intelligible provenant du programme de radiodiffusion, parfois inintelligible	<ul style="list-style-type: none"> – Insertion de capacités (aux bornes d'entrée de l'appareil téléphonique) – Remplacement par un câble à écran métallique – Mise sous écran de la ligne d'introduction – Insertion dans le circuit de bobines d'arrêt
Circuit de transmission à courants porteurs et circuit de transmission de signal vidéo	Ondes km et hm (principalement hm)	supérieure à plusieurs kW	<ul style="list-style-type: none"> – Jusqu'à plusieurs dizaines de km – Dans le cas de systèmes à courants porteurs d'abonnés, on a signalé des perturbations jusqu'à près de 1000 km (0,03 à 1,8 V/m) 	<ul style="list-style-type: none"> – Essentiellement câble aérien avec écran métallique (paires symétriques, paires coaxiales) – Câblage dans des bâtiments (entre le multiplex et l'antenne, entre étages de démodulation) – Ligne aérienne 	Tonalité à une seule fréquence ou bruit inintelligible dans une voie téléphonique démodulée (dégradation du rapport S/B dans le système de transmission)	<ul style="list-style-type: none"> – Amélioration de l'efficacité de l'écran dans le câble, le câblage, etc. – Amélioration de la mise à terre de l'enveloppe du câble du répéteur, de l'équipement terminal, etc. – Adoption d'un câble souterrain – Adoption d'un trajet de pose du câble différent – Augmentation du niveau de signal, diminution de l'espacement des répéteurs – Correction du déséquilibre d'admittance de la paire par rapport au sol – Adjonction d'un compresseur-extenseur à l'extrémité terminale du circuit à courants porteurs en fils aériens – Installation d'une bobine d'arrêt longitudinale suffisamment équilibrée aux circuits à courants porteurs
Echauffement par induction causé par fréquences radioélectriques	Ondes hm (radiodiffusion)	–	Au voisinage immédiat de l'antenne de la station radio-électrique	<ul style="list-style-type: none"> – Ligne aérienne – Ligne d'introduction 	Brûlures imputables aux fréquences radioélectriques	<ul style="list-style-type: none"> – Insertion de condensateurs entre les conducteurs et le sol

ANNEXE G

(à la Recommandation K.18)

Perturbations induites par les ondes radioélectriques dans les câbles à paires coaxiales des stations de répéteurs Mesures correctrices

G.1 *Systèmes de transmission affectés et perturbations*

On a observé des cas de perturbations induites par des émissions radioélectriques dans les systèmes de transmission à courants porteurs des stations de répéteurs.

Si la fréquence de l'onde radioélectrique induite tombe dans la bande des fréquences de transmission, elle introduit un bruit à une seule fréquence, ou bruit inintelligible, dans la voie téléphonique démodulée. Les perturbations sont causées par les courants induits dans les conducteurs extérieurs ou les écrans des câbles à paires coaxiales, dans la station de répéteur.

Les fréquences perturbatrices des ondes radioélectriques sont le plus souvent des fréquences des bandes hectométriques et décimétriques (de l'ordre de 1 à 15 MHz).

G.2 *Champ électrique*

Les ondes radioélectriques provoquent des perturbations quand le champ électrique dépasse 100 dB μ V/m à l'extérieur du bâtiment d'une station ou 80 dB μ V/m à l'intérieur.

L'affaiblissement introduit par le bâtiment dépend de la nature de la construction. Par exemple, dans le cas d'un bâtiment en béton, cet affaiblissement peut être de 20 à 30 dB entre 1 et 15 MHz.

Le champ électrique n'est pas homogène à l'intérieur d'un bâtiment. On a observé de grandes variations, de l'ordre de 20 à 30 dB.

G.3 *Mesures correctrices*

Une des mesures de protection les plus efficaces consiste à améliorer le blindage des câbles à paires coaxiales. L'efficacité du blindage de ces câbles dépend de l'impédance de transfert (Z_T) et il est utile d'avoir un câble à faible impédance de transfert. On a utilisé, par exemple, un câble à paires coaxiales avec blindage en mu-métal ($Z_T = 0,01$ m Ω /m à 1 MHz) et un câble blindé à triple tresse ($Z_T = 0,1$ m Ω /m à 1 MHz). On peut obtenir une diminution de 15 à 20 dB en remplaçant un câble à paires coaxiales à double tresse par un câble à triple tresse.

On obtient de bons résultats en utilisant une connexion à faible impédance de transfert entre le câble de la station et l'équipement, et en réalisant avec soin la mise à la terre dans la station de répéteur.

Références

- [1] SATO (T.), NAKAHIRA (M.), KOJIMA (N.): "Radio Wave Interference in Overhead Communication Cables", *Comptes rendus de la 22^e réunion de l'IWCS*, 1973.
- [2] SCHULTZ (E.), VOGEL (W.): "Beeinflussung von Trägerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeinflussungsquellen", (Perturbation des systèmes à courants porteurs par des sources à haute fréquence), *ETZ-A*, Bd. 85, H. 20, 1964.