

QUEEN
TK
6643
.D33214
1989
c.2

Communications
Canada

BTRB-6
Version 2
Juillet 1989

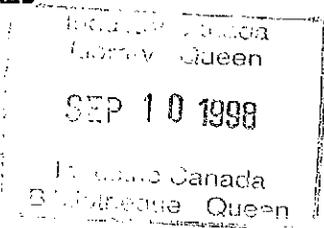
2
**RAPPORT SUR LA PRÉVISION
DU BROUILLAGE PAR
FANTÔMES ET LA QUALITÉ
D'IMAGE EN TÉLÉVISION**

Préparé par:

J. S. Dadourian /
W. E. Wright

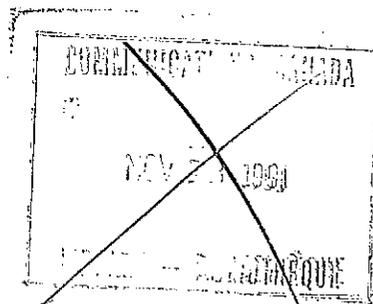
Canada

TABLE DES MATIÈRES



SOMMAIRE

1. Introduction
2. Description du problème
3. Obtention des équations de l'amplitude et du retard de l'écho
 - 3.1 Définition des paramètres
 - 3.2 Équation du retard de l'écho
 - 3.3 Équation de l'amplitude de l'écho
4. Examen de divers facteurs
 - 4.1 Centre de rayonnement du pylône réfléchissant
 - 4.2 Section efficace
 - 4.3 Diagramme de rayonnement vertical de l'antenne d'émission
5. Facteur de correction pour la bande UHF
6. Qualité d'image
 - 6.1 Échelle de dégradation
 - 6.2 Relation entre qualité d'image, retard et amplitude
7. Limites
 - 7.1 Largeur frontale
 - 7.2 Angle de dépression tendu par l'emplacement de réception
 - 7.3 Choix du plan de référence
 - 7.4 Distance entre pylônes
8. Progiciel et organigramme
9. Exemples de calculs et comparaison avec le brouillage mesuré
10. Conclusion



- Annexe 1 : Azimut type du brouillage par fantômes et effets des réflexions par le sol
- Annexe 2 : Sections efficaces de diffusion
- Annexe 3 : Courbe expérimentale de correction des effets dus aux échos
- Annexe 4 : Relation entre le retard et le niveau d'écho pour différents degrés de dégradation d'image visuelle - Résultats basés sur un échantillon de population "typique" de téléspectateurs
- Annexe 5 : Dégagement dans la zone de Fresnel
- Annexe 6 : Logiciel en FORTRAN

SOMMAIRE

Le rapport présente une méthode de prévision du brouillage par fantômes en télévision obtenue à partir d'une étude intitulée "A Study Into Television and FM Radio Ghosting and Multipath Distortion" réalisée par E.W. Horrigan and Associates Ltd. Cette étude a été effectuée pour le compte du Ministère sous contrat du MAS n° 36100-7-0613.

L'étude de E.W. Horrigan est présentée en deux volumes. Le premier, daté de septembre 1978, renferme les résultats de l'examen des effets subjectifs des échos sur la qualité d'image en télévision et établit la relation existant entre le retard et l'amplitude de l'écho pour différents niveaux de qualité d'image. Le deuxième volume, daté de novembre 1978, expose la façon dont a été établie la méthode de prévision du brouillage par fantômes.

Le Ministère a mis au point un programme informatique de prévision du brouillage par fantômes; ce programme permet également d'établir la relation entre l'amplitude de l'écho et la qualité de l'image de télévision. Ce programme s'inspire pour l'essentiel du modèle de prévision des fantômes de E.W. Horrigan (deuxième volume, novembre 1978).

1. Introduction

Nous établissons dans le présent rapport une méthode de prévision de l'importance du brouillage par fantômes en télévision que causent les pylônes d'antenne et d'autres structures métalliques. Le rapport est destiné aux conseillers en radiodiffusion ainsi qu'aux personnels techniques des radiodiffuseurs, qui pourront s'en servir pour choisir les emplacements des pylônes des antennes d'émission ou encore pour les concevoir.

La méthode est valable pour les fréquences de la télévision, par exemple pour les bandes VHF et UHF; on ne peut s'en servir aux fréquences supérieures ou inférieures.

2. Description du problème

En télévision, les emplacements d'émission sont choisis pour fournir un niveau de signal adéquat dans les environs immédiats de la station. Il est souvent arrivé que l'emplacement choisi se situait à proximité d'autres pylônes de télécommunications servant par exemple à la radiodiffusion, au service mobile terrestre, à la téléphonie cellulaire, etc. Toute antenne d'émission de télévision rayonne des ondes électromagnétiques qui, en s'éloignant de l'antenne, illuminent ces structures métalliques. Les ondes induisent le passage de courants électriques dans ces dernières qui, à leur tour, émettent leurs propres ondes électromagnétiques (phénomène de réflexion) à la même fréquence que la station de télévision. Il se crée ainsi une deuxième onde qui parcourt un plus long trajet jusqu'aux récepteurs. Comme son trajet est plus long que celui de l'onde directe, l'onde réfléchie parvient aux récepteurs avec un léger retard, et par suite à la droite du signal principal (l'écran de télévision étant balayé de gauche à droite). La deuxième image formée à l'écran par l'onde réfléchie est généralement appelée fantôme et le brouillage résultant, brouillage par fantômes.

3. Obtention des équations de l'amplitude et du retard de l'écho

L'importance du brouillage par fantômes ou brouillage par réflexion (phénomène qui est parfois appelé effet des propagations multiples) est fonction du retard (t_d) de l'onde réfléchie ainsi que de son amplitude (G) comparativement à celle de l'onde directe.

3.1 Définition des paramètres

Voici la liste des paramètres qui ont servi à établir les équations de l'amplitude (G) et du retard (t_d) de l'écho :

f : radiofréquence en MHz
 λ : longueur d'onde en mètres
 h_t : hauteur du centre de rayonnement de l'émetteur au-dessus du plan de référence, en mètres
 h_g : hauteur du pylône réfléchissant au-dessus du plan de référence, en mètres
 h_v : hauteur de l'antenne de réception au-dessus (+) ou sous (-) le plan de référence, en mètres
 d_g : distance entre le pylône d'émission et le pylône réfléchissant, en mètres
 d_v : distance entre le pylône d'émission et l'emplacement de réception, en mètres
 d_{gv} : distance entre le pylône réfléchissant et l'emplacement de réception, en mètres
 ϕ_g : azimut du pylône réfléchissant, en degrés
 ϕ_v : azimut de l'emplacement de réception, en degrés
 $F_h(\phi)$: champ horizontal relatif à un azimut donné
 $F_v(\theta)$: champ vertical relatif sur un angle de dépression donné

3.2 Équation du retard de l'écho

On peut obtenir une expression du retard de l'écho (t_d) de la simple géométrie du triangle (voir Annexe 1) :

$$d_{gv}^2 = d_g^2 + d_v^2 - 2d_g d_v \cos(\theta_g - \theta_v) \quad (1)$$

La différence des trajets parcourus par l'onde directe et par l'onde réfléchie est :

$$d = d_g + d_{gv} - d_v,$$

et il vient par suite pour le retard de l'écho :

$$t_d = \frac{d}{c} = \frac{d_g + d_{gv} - d_v}{c} \quad (2)$$

En microsecondes, ce retard s'exprime :

$$t_d(\mu s) = 3,33(d_g + d_{gv} - d_v) \times 10^{-3} \quad (3)$$

3.3 Équation de l'amplitude de l'écho

Les méthodes de prévision du brouillage par fantômes maintenant utilisées ne sont ni réalistes ni pratiques. Souvent, elles ne tiennent pas compte des effets de la forme du diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission, de la réflexion par le sol et de la longueur finie des structures réfléchissantes, produisant ainsi des résultats irréalistes.

L'établissement de l'équation de l'amplitude de l'écho repose sur les hypothèses suivantes :

- a. l'antenne d'émission n'est pas nécessairement un radiateur isotrope;
- b. le système dans son ensemble n'est pas situé en espace libre;
- c. le pylône réfléchissant n'est pas illuminé également ni excité uniformément par un front d'ondes à phase constante.

3.3.1 Densité de puissance à l'emplacement de réception

Soit P_t la PIRE (puissance isotrope rayonnée efficace) de l'antenne d'émission et $F_h(\phi_v)$ et $F_v(\theta_v)$ respectivement le champ horizontal relatif ainsi que le champ vertical relatif à l'emplacement de réception. La densité de puissance à l'emplacement de réception s'écrit alors

$$W_v = \frac{P_t}{4\pi d_v^2} F_h^2(\phi_v) F_v^2(\theta_v) \quad (4)$$

3.3.2 Densité de puissance au pylône réfléchissant

Posons la situation type se présentant habituellement dans un problème de brouillage par fantômes. Les deux pylônes sont de hauteur finie au-dessus d'un plan de référence commun et sont séparés d'une distance d_g qui se situe dans les limites $h_t \leq d_g \leq 50h_t$. Dans ces limites, les effets des réflexions par le sol ne peuvent pas être négligés et il est en conséquence nécessaire de définir la densité de puissance incidente.

La densité de puissance incidente en un point de hauteur h du pylône réfléchissant est égale à la somme de l'onde directe et de l'onde réfléchie par le sol (Annexe 1) :

$$W_g(h) = \frac{P_t}{4\pi} Q^2(h) F_h^2(\phi_g) \quad (5)$$

dans laquelle

$$Q(h) = \frac{F_v(\theta_{gd})}{R_D} \exp(-j\beta R_D) - \frac{F_v(\theta_{gr})}{R_R} \exp(-j\beta R_R) \quad (6)$$

R_D et R_R sont les longueurs des trajets parcourus respectivement par l'onde directe et par l'onde réfléchie par le sol avant de parvenir au point de hauteur h du pylône :

$$R_D^2 = d_g^2 + (h_t - h)^2 \quad (7a)$$

$$R_R^2 = d_g^2 + (h_t + h)^2 \quad (7b)$$

$F_v(\theta_{gd})$ et $F_v(\theta_{gr})$ représentent les valeurs du champ vertical relatif aux angles d'abaissement θ_{gd} et θ_{gr} , qui correspondent respectivement aux trajets de l'onde directe et de l'onde réfléchie par le sol.

Le champ électrique incident s'exprime :

$$E_i = E_D - E_R = \sqrt{\frac{\eta P_t}{4\pi}} F_h(\phi_g) Q(h) \quad (8)$$

3.3.3 Densité de puissance à l'emplacement de réception attribuable au rerayonnement par le pylône réfléchissant

Soit σ la section efficace de diffusion d'une section du pylône réfléchissant de hauteur égale à la longueur d'onde et soit l'hypothèse que le champ électrique incident est uniforme sur une section d'une longueur d'onde (approximation en champ lointain) du pylône réfléchissant. Le champ électrique réfléchi à l'emplacement de réception est alors donné par l'expression

$$\left| E_{ref} \right|^2 = \frac{\sigma}{4\pi} \left| E_i \right|^2 \frac{1}{d_{gv}^2} \quad (9)$$

ou

$$E_{\text{ref}} = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi} \frac{\eta P_t}{4\pi}} F_h(\phi_g) \times \sum_i \frac{Q(h)}{d_{gv}} \exp(-j\beta d_{gv}) \quad (10)$$

Si le pylône réfléchissant est assimilé à un empilement de n sections de hauteur d'une longueur d'onde, le champ électrique réfléchi total s'exprime alors par la somme

$$E_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ref}}(i)$$

$$E_{\text{tot}} = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi} \frac{\eta P_t}{4\pi}} F_h(\phi_g) \times \sum_{i=1}^n \frac{Q(h)}{d_{gv}} \exp(-j\beta d_{gv}) \quad (11)$$

dans lesquelles : $Q(h) = Q(h(i))$ et $d_{gv} = d_{gv}(i)$.

La densité de puissance réfléchie totale à l'emplacement de réception s'écrit donc

$$W_{gv} = \frac{|E_{\text{tot}}|^2}{\eta} = \frac{\sigma}{4\pi} \frac{P_t}{4\pi} F_h^2(\phi_g) \times \left[\sum_{i=1}^n \frac{Q(h)}{d_{gv}} \exp(-j\beta d_{gv}) \right]^2 \quad (12)$$

3.3.4 Rapport écho/signal

Le rapport écho/signal à l'emplacement de réception est égal au ratio de la densité de puissance à cet emplacement due au rerayonnement par le pylône réfléchissant (équation 12) et de la densité de puissance de l'onde directe au même emplacement (équation 4).

$$\frac{W_{gv}}{W_v} = \left[\frac{d_v}{d_{gv}} \right]^2 \frac{\sigma}{4\pi} \left[\frac{F_h(\phi_g)}{F_h(\phi_v)} \right]^2 \times \frac{\left[\sum_{i=1}^n \right]^2}{F_v^2(\theta_v)} \quad (13)$$

3.3.5 Équation complète de l'amplitude de l'écho

L'équation fondamentale de l'amplitude de l'écho s'écrit

$$G(\text{en dB}) = 10 \log_{10} \left[\frac{\sigma}{4\pi} \left[\frac{d_v \lambda}{d_{gv}} \right]^2 L_{GH} \times \left[\frac{F_h(\phi_g)}{F_h(\phi_v)} \right]^2 \frac{\left[\sum_{i=1}^n \right]^2}{F_v^2(\theta_v)} \right] \quad (14)$$

Dans lesquelles L_{GH} est la fonction hauteur linéaire-gain (voir section 4.1) et σ est la section efficace exprimée en λ^2 .

L'équation (14) permet de prévoir l'amplitude maximale de l'écho et peut donc servir à évaluer les limites de proximité des structures adjacentes à des émetteurs de télévision.

4. Examen de divers facteurs

4.1 Centre de rayonnement du pylône réfléchissant

La fonction hauteur linéaire-gain L_{HG} à l'emplacement de réception s'applique uniquement là où la composante directe et la composante réfléchiée par le sol à la fois de l'écho et du signal direct sont substantiellement déphasées. Lorsque le dégagement se situe dans la première zone de Fresnel (Annexe 5), il faut donner la valeur unité (1) au facteur pour que les calculs d'écho soient réalistes. Ainsi, si

$$\frac{f(h_t - h_v)}{d_v} < 7,5 \text{ MHz et } \frac{f(\bar{h}_g - h_v)}{d_{gv}} < 7,5 \text{ MHz} \quad (15a)$$

il vient alors $L_{HG} = 1,0$;

$$\text{autrement, } L_{HG} = \left[\frac{\bar{h}_g - h_v}{h_t - h_v} \right]^2 \quad (15b)$$

Afin de faciliter le calcul de la fonction hauteur linéaire-gain, L_{HG} (Équation 15a), le centre efficace de rerayonnement du pylône

réfléchissant (\bar{h}_g) peut être assimilé au centroïde de premier moment de $Q(h)$:

$$\bar{h}_g = \frac{\int_0^{h_g} h Q^2(h) dh}{\int_0^{h_g} Q^2(h) dh}$$

4.2 Section efficace

La section efficace radar (σ) de structures cylindriques a été définie comme une circonférence de boucle exprimée en longueurs d'ondes, puis intégrée à l'équation de section des pylônes.

4.2.1 Mesures de la section efficace de diffusion

La mesure de la section efficace de diffusion d'un pylône à sections triangulaires types de hauteur égale à une longueur d'onde (les pylônes à section carrée présentent le même comportement) a été faite pour des boucles se situant entre $0,5\lambda$ et $2,5\lambda$. Les résultats de ces mesures sont les suivants :

Dimension de la boucle en λ	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Aire efficace σ par hauteur unitaire λ	$0,36 \lambda^2$	$1,6 \lambda^2$	$1,0 \lambda^2$	$2,7 \lambda^2$	$2,3 \lambda^2$

4.2.2 Équation de la section efficace de diffusion

Pour un signal à polarisation horizontale, les valeurs mesurées de la section efficace de diffusion d'une section d'une hauteur d'une longueur d'onde d'un pylône triangulaire indiquée ci-dessus ont été ajustées à une équation appropriée pour des boucles de dimension se situant entre $0,5 \lambda$ et $3,0 \lambda$.

Cette équation qui décrit bien les données mesurées entre ces deux limites se présente sous la forme :

$$\sigma_t = f\left(\frac{l}{\lambda}\right) f(S(z)) \quad (17)$$

dans laquelle l représente la longueur de la boucle, en mètres. Soit w la largeur du pylône en mètres et N_S le nombre de côtés du pylône; il vient alors

$$l = N_S w$$

$$S(z) = \int_0^z \sin\left(\frac{\pi}{2} t^2\right) dt \quad (18)$$

À l'aide de la relation entre l'intégrale de Fresnel et ses fonctions auxiliaires $f(z)$ et $g(z)$, l'intégrale $S(z)$ peut s'écrire

$$S(z) = 0,5 - f(z) \cos\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) - g(z) \sin\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) \quad (19)$$

Aux fins des calculs, les approximations rationnelles [1] pour $f(z)$ et $g(z)$ peuvent servir à évaluer $S(z)$, de la façon qui suit :

$$f(z) = \frac{1 + 0,926z}{2 + 1,792z + 3,104z^2} + \xi(z) \quad (20a)$$

$$g(z) = \frac{1}{2 + 4,142z + 3,492z^2 + 6,67z^3} + \xi(z), \quad (20b)$$

dans lesquelles $\xi(z) \leq 2 \times 10^{-3}$

$$\sigma = \frac{l}{1,2} \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{l}{\lambda} \left[1 - \exp\left(-\frac{2l}{\lambda}\right)\right]^2 S(z) \quad (21)$$

dans laquelle $z = \frac{l}{\lambda} + 0.5$

La section efficace de diffusion d'un gros cylindre est définie

$$\sigma_{cyl} = 2\pi \frac{a}{\lambda} L^2 \quad (22)$$

dans laquelle L = hauteur du cylindre et a = rayon du cylindre.

$$\text{Soit } \frac{2\pi a}{\lambda} = \frac{l}{\lambda} \text{ et } L = \lambda$$

La section efficace pour $\frac{l}{\lambda} > 3,0$ devient $\sigma = \frac{l}{\lambda}$; pour les autres valeurs $0 < \frac{l}{\lambda} \leq 3,0$, il y a lieu d'utiliser l'équation 21.

Les sections efficaces mesurées du pylône à hauteur égale à une longueur d'onde sont indiquées à l'Annexe 2, avec l'équation générale de la courbe du cylindre équivalent (équation 22).

4.3

Diagramme de rayonnement vertical de l'antenne d'émission

Le diagramme de rayonnement vertical d'une antenne constituée d'un empilement vertical de radiateurs se calcule normalement à partir des courants d'entrée alimentant chacun des radiateurs et du diagramme de rayonnement vertical d'un radiateur. Pour la présente application, seule l'amplitude normalisée du diagramme présente un intérêt. Aussi, pour une antenne constituée de N radiateurs identiques, distancés uniformément d'une longueur d'onde (les effets de couplage mutuel peuvent être ignorés lorsque la distance entre deux radiateurs adjacents est d'une longueur d'onde environ) et parcourus par des courants identiques, le diagramme de rayonnement vertical est donné par l'expression :

$$F_V(\theta) = \frac{\sin[N\pi\sin\theta]}{N\sin[\pi\sin\theta]} f_V(\theta) \quad (23)$$

dans laquelle $f_V(\theta)$ est le diagramme de rayonnement d'un radiateur. Cette expression peut s'approximer par le diagramme de rayonnement vertical d'un doublet demi-onde :

$$f_V(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin\theta\right)}{\cos\theta} \quad (24)$$

Ces fonctions sont générées par le progiciel afin qu'il soit possible de calculer les champs verticaux relatifs sur divers angles de dépression.

Jusqu'à maintenant, il est supposé qu'on utilise le diagramme de rayonnement vertical en conditions idéales. Pour tenir compte des effets du pylône, des haubans, etc., une correction, ou facteur quadratif, est introduite. Pour un angle de dépression donné θ , le champ vertical relatif requis est obtenu à partir de la valeur théorique du diagramme de rayonnement au moyen de la formule

$$F_V(\theta) = [F_V^2(\theta) + A^2]^{1/2} \quad (25)$$

Dans cette formule, $A = 0,2$ pour la plupart des antennes de radiodiffusion VHF/UHF et ne dépend pas de l'angle de dépression.

5. Facteur de correction pour la bande UHF

Pour la bande VHF, dans laquelle $\frac{l}{\lambda} \leq 3$, le pylône réfléchissant peut être assimilé à une surface solide, même s'il s'agit d'une structure en treillis type. Dans ces cas, l'amplitude et le retard de l'écho se calculent au moyen de la méthode exposée à la section 3.

Pour ce qui est des bandes UHF, dans lesquelles souvent $\frac{l}{\lambda} > 3$, les structures en treillis ne peuvent pas être assimilées à un cylindre solide équivalent puisqu'une bonne partie de l'énergie incidente peut les traverser facilement. Un facteur de correction, établi à partir d'une étude théorique de la transparence relative d'un treillis comparativement à celle d'un cylindre solide équivalent, a été établi pour les cas où $\frac{l}{\lambda} > 3$ (Annexe 3), à défaut pour l'instant d'une formule de prévision générale de la section efficace couvrant les situations de brouillage par fantômes à la fois dans les bandes VHF et UHF.

6. Qualité d'image

6.1 Échelle de dégradation

L'échelle de dégradation mise au point indique à quel point le brouillage par fantômes gêne l'observation de l'image de télévision, par rapport à un quelconque paramètre de performance. L'échelle à cinq points de l'avis 500-1 du CCIR a été choisie comme échelle fondamentale d'évaluation de la qualité de l'image.

Cette échelle se présente comme suit :

Note de dégradation	Dégradation (description)
5	Imperceptible (excellent)
4	Perceptible mais non gênant (bon)
3	Légèrement gênant (moyen)
2	Très gênant (médiocre)
1	Inutilisable (mauvais)

6.2 Relation entre qualité d'image, retard et amplitude

Pour une qualité d'image donnée, plus court est le retard de l'écho, plus l'amplitude de l'onde réfléchie peut être grande. Des essais subjectifs ont indiqué l'existence d'une relation entre les deux paramètres, et le graphique de l'Annexe 4 montre cette relation pour diverses qualités d'image.

Grâce aux techniques de régression linéaire, la relation peut être exprimée, pour un échantillon type de téléspectateurs, de la façon suivante :

$$N = 6 - \left[0,143G \exp \left[- \frac{0,637}{\tau_d} \right] + 6,65 \exp \left[- \frac{0,475}{\tau_d} \right] \right] \quad (26)$$

7. Limites

La présente méthode de prévision de l'amplitude des fantômes est extrêmement simple et commode. Elle permet d'obtenir une solution précise pour la majorité des situations où il y a brouillage par fantômes. Néanmoins, sa validité dépend largement des critères qui suivent.

7.1 Largeur frontale

La largeur frontale du pylône réfléchissant doit être relativement faible, c'est-à-dire $w \leq 3\lambda$ aux fréquences VHF. En polarisation horizontale, cette condition permet l'obtention d'une section efficace de diffusion uniforme sur presque tout l'azimut, avec une valeur supérieure dans la région d'ombre, derrière le pylône réfléchissant [2]. En d'autres termes, à l'exception de la région d'ombre, le diagramme de "rerayonnement" horizontal, ou encore diagramme de diffusion, ne dépend pas de l'orientation des arêtes ou des faces du pylône réfléchissant par rapport à la direction de l'onde incidente, et il est à toute fin pratique un cercle (à 2dB près) lorsque $w \leq 3\lambda$.

D'autre part, la valeur maximale se produit dans la région d'ombre, sauf là où la structure réfléchissante est de très petit diamètre. Toutefois, comme le retard de l'écho est très petit dans cette région, la qualité d'image est relativement indépendante de l'amplitude de l'écho dans la région d'ombre, et en conséquence le brouillage par fantômes s'y manifeste peu.

7.2 Angle de dépression tendu par l'emplacement de réception

Des mesures [3] faites sur des structures réfléchissantes de type semblable ont indiqué que le diagramme de diffusion est directionnel dans le plan vertical (environ -3 dB à $\theta = 15$ degrés). Lorsque l'angle de dépression tendu par l'emplacement de réception, vu depuis le centre de rerayonnement du pylône réfléchissant, est trop grand (c'est-à-dire $\theta > 10^\circ$), l'amplitude prévue de l'écho est beaucoup trop élevée. La limite supérieure standard est de 10° , cependant les prévisions effectuées pour $5^\circ < \theta \leq 10^\circ$ doivent faire l'objet d'une certaine réserve.

7.3 Choix du plan de référence

La sommation de la puissance incidente commençant à la base du pylône réfléchissant (équation 11) et la section efficace σ calculée n'étant valables que pour des pylônes d'antenne étroits de type à treillis, le plan de référence devrait toujours correspondre à la base du pylône réfléchissant. Dans la réalité, toutefois, il y a lieu de tenir compte des trois conditions topographiques suivantes :

- a) les bases du pylône d'émission et du pylône réfléchissant sont à la même altitude;
- b) la base du pylône d'émission est plus élevée que celle du pylône réfléchissant; et
- c) la base du pylône réfléchissant est plus élevée que celle du pylône d'émission.

Les prévisions obtenues dans les cas a) et b) sont estimées être réalistes dans la plupart des circonstances, puisqu'elles satisfont aux conditions exposées au paragraphe ci-dessus. Dans le cas c), si l'altitude de la base du pylône réfléchissant est relativement élevée, l'éminence ou la structure sur laquelle repose le pylône réfléchissant créera également un écho important. Cet écho supplémentaire rend les prévisions non fiables.

7.4

Distance entre pylônes

Le rapport et le modèle de prévision associé ne traitent pas des délais inférieurs à 0,5 μ s. Les effets subjectifs d'écho ayant de très petits retards semblent plus importants que ceux qu'indique l'extrapolation des courbes (Annexe 4) entre 0 et 0.5 μ s. Des essais limités et des analyses théoriques ont indiqué qu'on peut s'attendre à des phénomènes importants de saturation de couleur et de changement de teinte lorsque le retard de l'écho est approximativement égal à une demi-période plus un nombre entier de périodes de la fréquence de la sous-porteuse couleur. Tout retard de ce genre crée une modulation de phase et d'amplitude de la salve couleur et du signal de chrominance. Cet aspect du brouillage par fantômes n'est toutefois pas couvert dans le présent rapport.

Une fois la limite inférieure du retard nettement établie, la distance minimale entre pylônes peut être calculée au moyen de la formule

$$d_{\min} = \frac{ct_d}{2}$$

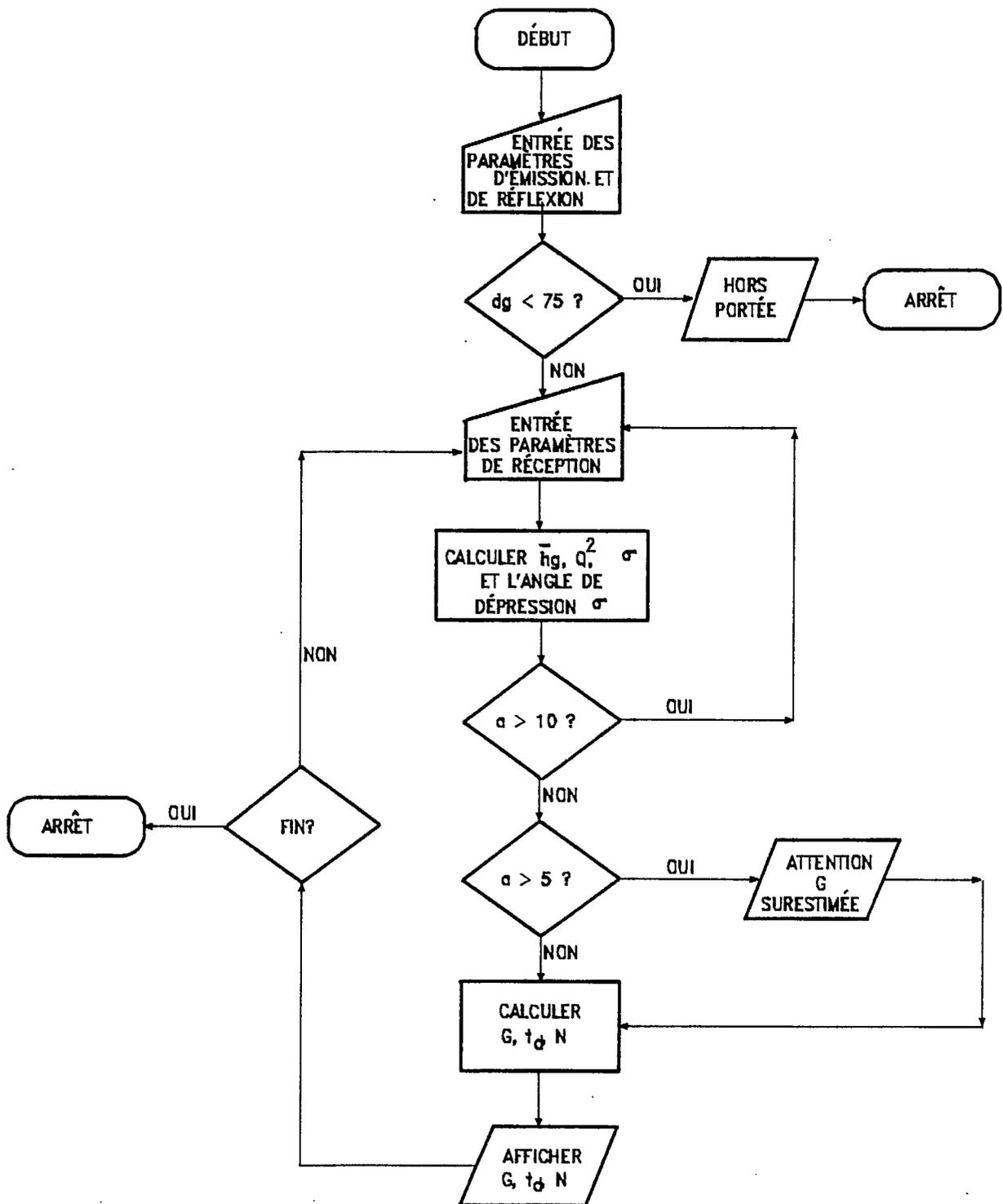
pour $t_d = 0,5 \mu$ s et $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, la distance minimale est $d_{\min} = 75 \text{ m}$.

8.

Progiciel et organigramme

Le progiciel en langage FORTRAN (Annexe 6) est conçu pour exécuter les fonctions suivantes :

1. calculer et afficher le retard de l'écho en microsecondes (équation 3);
2. calculer le centre de rayonnement efficace du pylône réfléchissant (équation 16);
3. générer le diagramme de rayonnement vertical de l'antenne d'émission (équation 23);
4. calculer la puissance incidente sur le pylône réfléchissant (équation 6);
5. calculer la section efficace du pylône réfléchissant (équation 21 ou 22);
6. calculer le dégagement du trajet entre l'émetteur et le récepteur et choisir le traitement du trajet (équations 15a et 15b);
7. calculer et afficher l'amplitude de l'écho en dB (équation 14);
8. calculer le facteur de correction pour la bande UHF si $l/\lambda > 3$;
9. calculer et afficher la qualité d'image reçue par le "téléspectateur typique" (équation 26).



9. Exemples de calcul et comparaison avec le brouillage mesuré

Voici deux exemples types de calcul du brouillage par fantômes du signal de télévision pour diverses conditions.

Exemple 1

Du brouillage par fantômes a été observé sur le canal 13 à Sudbury, en Ontario, après l'érection d'un pylône ne servant pas à la radiodiffusion dans le voisinage immédiat de la station de télévision. Des essais subséquents menés à des emplacements de contrôle choisis situés sur des arcs de 1 et de 3 km ont confirmé les observations et également indiqué que les réflexions (fantômes) étaient bel et bien causées par le nouveau pylône. Le brouillage par fantômes était particulièrement manifeste aux emplacements 2 et 7 (voir la liste des emplacements ci-dessous). La dégradation de l'image par les fantômes à ces deux emplacements était telle que la qualité d'image se situait entre 3,5 et 4 sur l'échelle à 5 points (voir section 6.1). Les amplitudes les plus élevées des fantômes observés aux deux emplacements étaient de l'ordre de 20 à 26 dB de moins que le signal direct.

Paramètres du pylône d'émission :

Fréquence de télévision (en MHz) :	211,24 (canal 13)
Nombre de baies :	4
Hauteur du C/R au-dessus du sol (en m) :	80,8
Hauteur du C/R au-dessus du plan de référence (en m) :	103

Paramètres du pylône réfléchissant :

Largeur du pylône (en m) :	1
Nombre de côtés :	3 (triangulaire)
Hauteur au-dessus du plan de référence (en m) :	109,7
Distance entre les pylônes (en m) :	253,6
Azimut (en degrés) :	327
Champ horizontal relatif sur l'azimut du pylône réfléchissant :	0,90

Paramètres de l'emplacement de réception :

<u>Emplacement</u>	<u>Distance (m)</u>	<u>Hauteur au-dessus (+) ou sous (-) le plan de réf. (m)</u>	<u>Az. (deg.)</u>	<u>Champ rel.</u>
1	1730	-76	89	0,52
2	2190	-37	45	0,43
3	2120	-62	331	0,88
4	1540	-48	264	0,97
5	2420	-80	225	0,83
6	1850	-45	203	0,69
7	1770	-54	134	0,41
8	3810	-40	183	0,55
9	4770	-82	223	0,82
10	2885	-65	285	0,99

Sortie du programme :

<u>Emplacement</u>	<u>Retard (µs)</u>	<u>Amplitude (dB)</u>	<u>Qualité d'image</u>
1	1,335	-26,21	3,67
2	0,717	-25,55	4,07
3	0,002	-30,41	Retard trop court
4	0,521	-30,75	4,62 (surestimée)
5	1,062	-32,19	4,27
6	1,355	-31,08	4,09
7	1,672	-26,89	3,62
8	1,538	-26,42	3,61
9	1,071	-28,97	4,02
10	0,235	-31,73	Retard trop court

Bien qu'ils ne soient pas très détaillés, notamment pour ce qui est de l'amplitude des échos aux divers emplacements, dans l'ensemble les résultats des essais indiquent une bonne corrélation (écho maximal prévu pour les emplacements 2 et 7 et amplitudes relatives comparables, c'est-à-dire -20 à -26 dB comparativement à -26 dB, au brouillage par fantômes mesuré à tous les emplacements).

Exemple 2

En 1977, T.M. Gluyas a étudié le brouillage par fantômes gênant les émissions de la station WPBT de Miami, en Floride [4]. La situation peut être résumée de la façon qui suit. À l'automne de 1977, et peu après l'exploitation d'un nouveau site d'émission, des téléspectateurs se sont plaints à la WPBT d'un brouillage par fantômes. Une étude a révélé qu'une partie appréciable du problème était causée par la réflexion des signaux par deux autres pylônes de télévision situés dans le voisinage de celui de la WPBT. Ces deux pylônes étaient situés respectivement à 595 et 961 m au nord vrai de l'antenne d'émission de la WPBT.

La mesure du brouillage par fantômes du signal de la WPBT s'est faite par émission de signaux d'essai plutôt qu'à partir des images de télévision. Cinq emplacements d'essai ont été choisis entre 5 et 7,8 km du pylône d'émission de la WPBT.

Paramètres du pylône d'émission :

Fréquence de télévision (en MHz) : 55,25
 Nombre de baies : 6
 Hauteur du C/R au-dessus du sol
 (en m) : 282
 Hauteur du C/R au-dessus du plan
 de référence (en m) : 282

Paramètres des pylônes réfléchissants :

Largeur des pylônes (en m) : 2,13 (canal 7) et 2,29
 (canal 10)
 Nombre de côtés : 3 (les deux sont triangulaires)
 Hauteur au-dessus du plan de
 référence (en m) : 305,4 (canal 7) et 320
 (canal 10)
 Distance entre les pylônes (en m) : 595 (canal 7) et 961 (canal 10)
 Azimut (en degrés) : 0 dans les deux cas
 Champ horizontal relatif sur
 l'azimut des pylônes
 réfléchissants : 0,96 dans les deux cas

Paramètres de l'emplacement de réception :

<u>Emplacement</u>	<u>Distance (m)</u>	<u>Hauteur au-dessus (+) ou sous (-) le plan de réf. (m)</u>	<u>Az. (deg.)</u>	<u>Champ rel.</u>
1	5270	10	184	0,98
2	7760	10	186	0,99
3	6510	10	86	0,87
5	4990	10	227	0,96
S	7270	10	135	0,96

Corrélation pour le pylône réfléchissant, canal 7 :

<u>Emplacement</u>	<u>Retard (µs)</u>	<u>Amplitude calculée de l'écho (dB)</u>	<u>Amplitude mesurée de l'écho (dB)</u>	<u>Qualité d'image prévue</u>
1	3,96	-29,76	-32,77	3,72
2	3,96	-30,19	-27,96	3,78
3	1,94	-28,19	-26,94	3,70
5	3,39	-29,32	-27,23	3,69
S	3,42	-29,71	-30,75	3,74

Corrélation pour pylône réfléchissant, canal 10 :

<u>Emplacement</u>	<u>Retard (µs)</u>	<u>Amplitude calculée de l'écho (dB)</u>	<u>Amplitude mesurée de l'écho (dB)</u>	<u>Qualité d'image prévue</u>
1	6,40	-33,86	-33,56	4,21
2	6,39	-32,97	-27,96	4,09
5	5,53	-33,82	-29,56	4,20
S	5,57	-32,63	-32,40	4,06

Comme l'indiquent les tableaux ci-dessus, il n'existe pas de différence significative entre l'amplitude mesurée et l'amplitude prévue de l'écho.

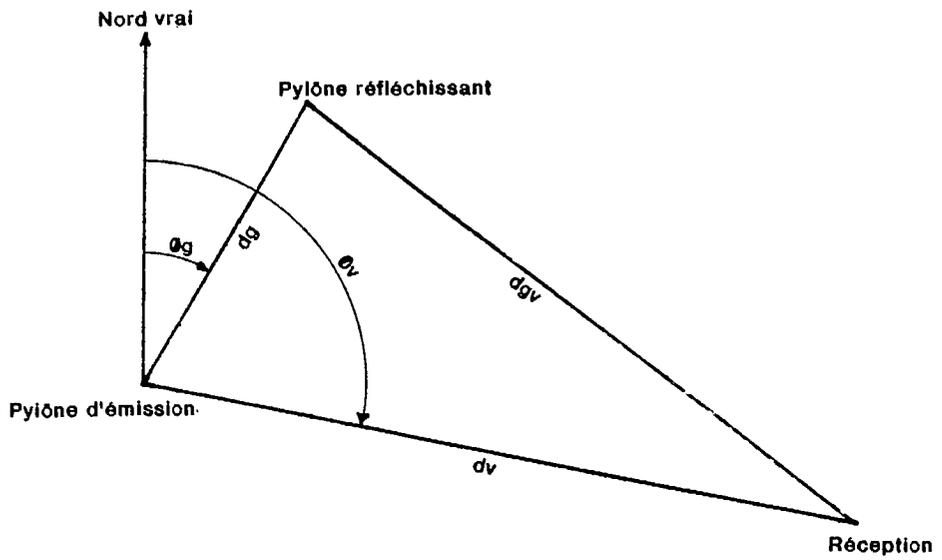
10. Conclusion

La façon la plus efficace de réduire au minimum ou même d'éliminer le brouillage par fantômes consiste à partager les pylônes d'antenne. Lorsqu'un certain nombre de pylônes d'émission rapprochés sont situés dans le même secteur général, les réflexions des pylônes voisins ne peuvent pas être négligées, notamment dans le cas des signaux de télévision. La présente étude du brouillage par fantômes constitue une méthode de prévision raisonnablement précise et suffisamment simple pour être mise en oeuvre au moyen de la plupart des ordinateurs personnels. Le présent rapport peut également servir à comprendre le phénomène du brouillage par fantômes et à prévoir l'ampleur de ce brouillage alors qu'on en est encore à planifier l'érection d'un pylône d'émission.

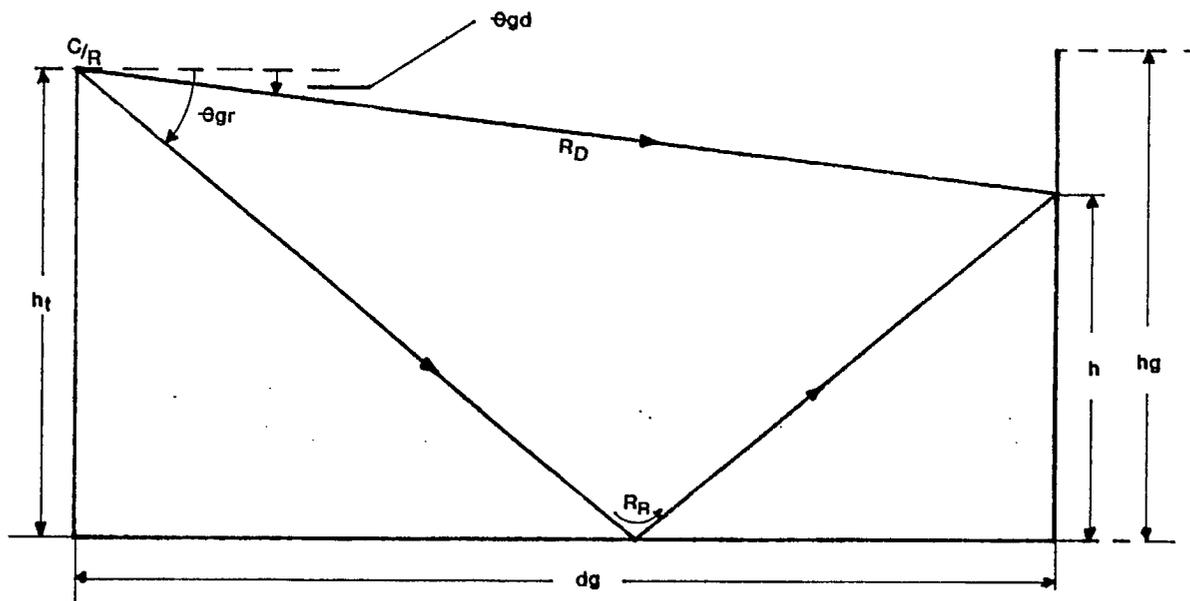
L'étude du brouillage par fantômes prend une grande importance aujourd'hui, maintenant que la télévision haute définition (TéléHD) devient réalité. Bien que les paramètres de la TéléHD ne soient pas encore totalement définis, le nombre accru de lignes horizontales dans un système TéléHD se traduit par un plus grand déplacement des images fantômes sur écran, à retards égaux. L'analyse du brouillage par fantômes dans un milieu diffusant autour de pylônes de télévision promet donc d'être encore plus critique dans un proche avenir.

A N N E X E S

ANNEXE 1

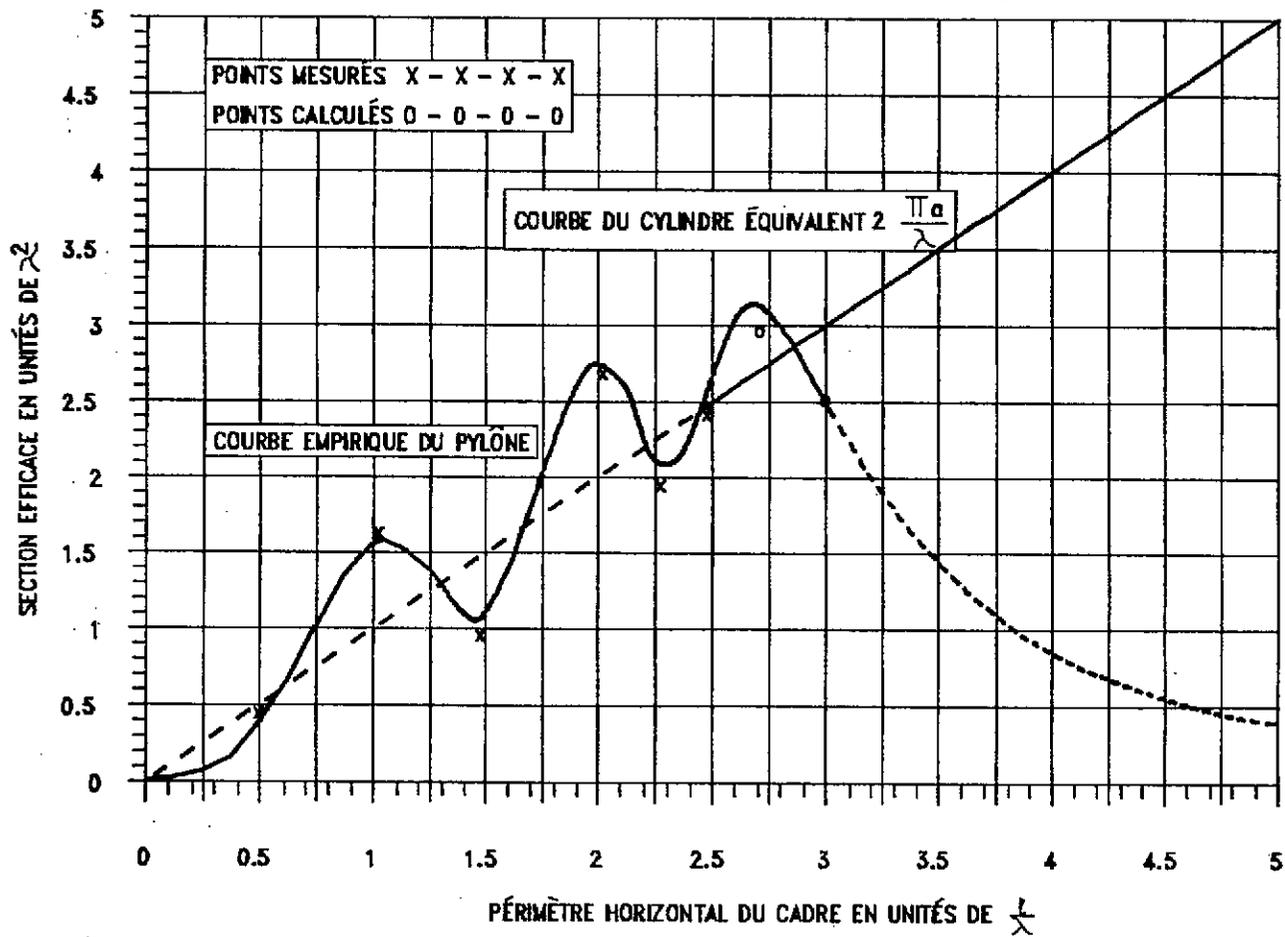


AZIMUT TYPE DU BROUILLAGE PAR FANTÔMES



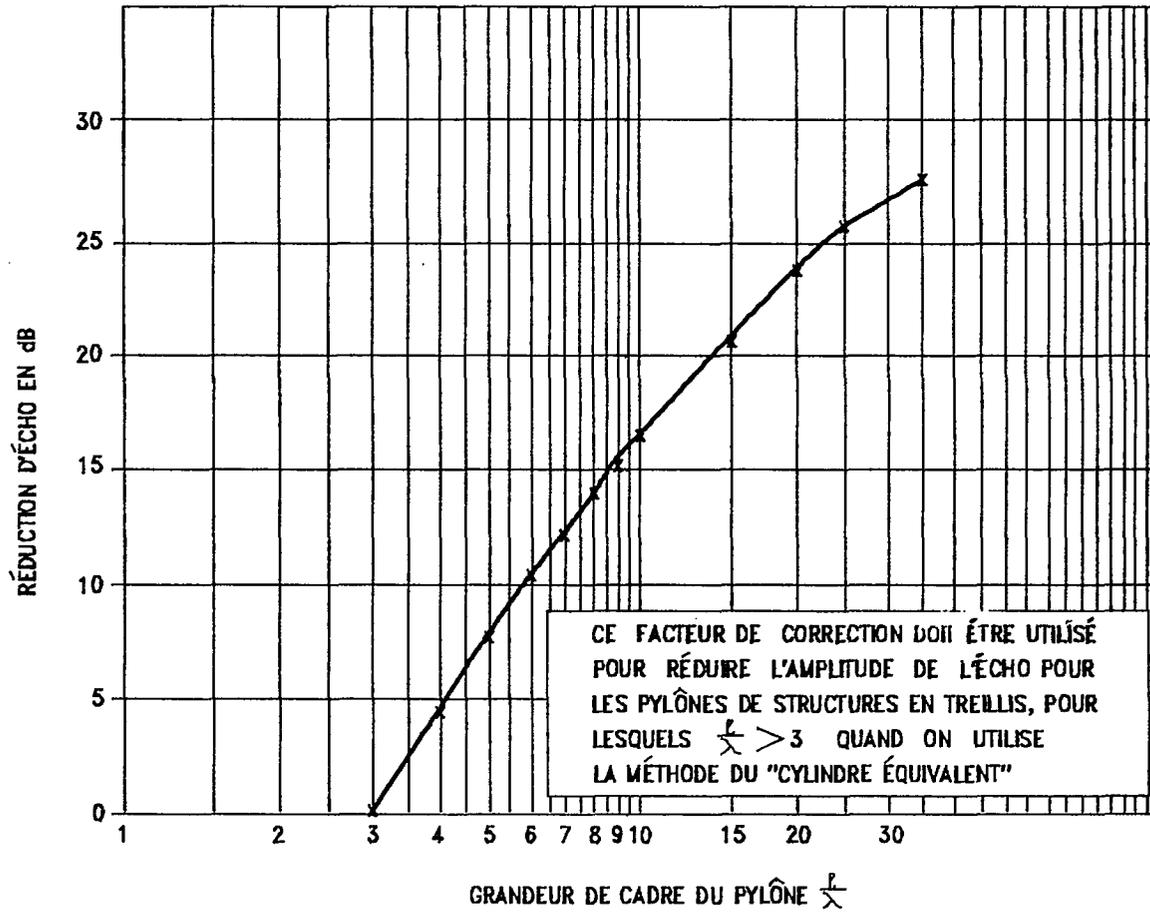
EFFETS DES RÉFLEXIONS PAR LE SOL

SECTION EFFICACE DE DIFFUSION
 PYLÔNE TRIANGULAIRE EN TREILLIS ET CYLINDRE ÉQUIVALENT POUR LA POLARISATION HORIZONTALE
 SECTIONS EN UNITES DE λ^2 POUR UNE HAUTEUR UNITAIRE DE λ

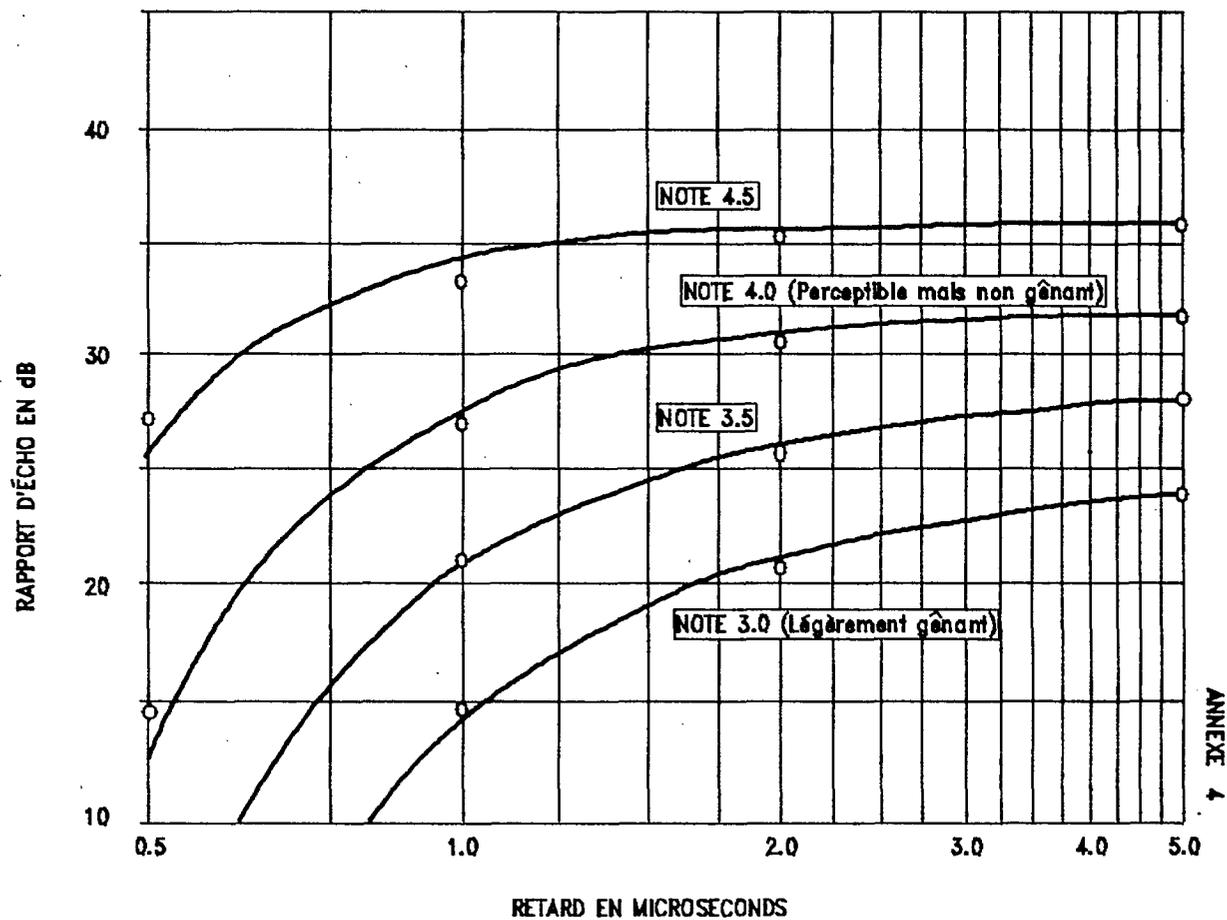


ANNEXE 2

COURBE EXPÉRIMENTALE DE CORRECTION DES EFFETS DUS AUX ÉCHOS

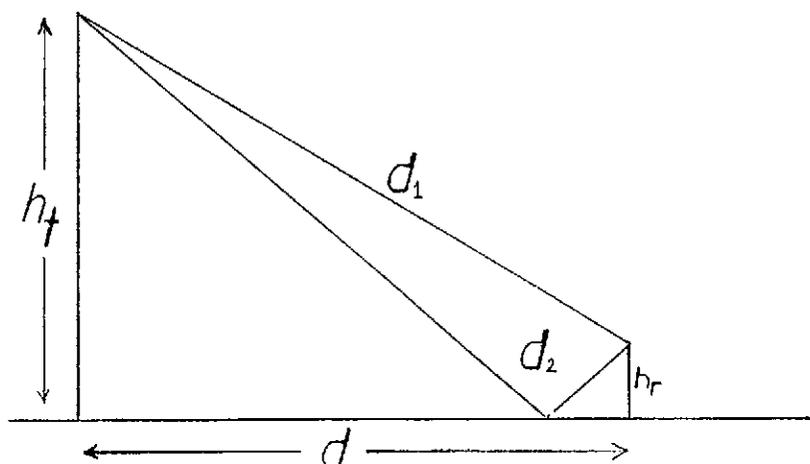


RELATION ENTRE LE RETARD ET LE NIVEAU D'ÉCHO POUR DIFFÉRENTS
DEGRÉS DE DÉGRADATION D'IMAGE TÉLÉVISUELLE RÉSULTATS BASÉS
SUR UN ÉCHANTILLON DE POPULATION "TYPIQUE" DE TÉLÉSPECTATEURS



ANNEXE 5

Dégagement dans la zone de Fresnel



Les longueurs des trajets d_1 et d_2 entre le centre de rayonnement de l'antenne d'émission et l'emplacement de réception se calculent comme suit :

$$d_1^2 = (h_t - h_r)^2 + d^2$$

$$d_2^2 = (h_t + h_r)^2 + d^2$$

si $h_t + h_r \ll d$, on peut faire l'approximation

$$d_1 \approx d \sqrt{1 + \frac{(h_t - h_r)^2}{2d^2}} \quad \text{et}$$

$$d_2 \approx d \sqrt{1 + \frac{(h_t + h_r)^2}{2d^2}}$$

La différence de longueur entre les deux trajets s'exprime :

$$d_2 - d_1 = \frac{1}{2d} \left[(h_t + h_r)^2 - (h_t - h_r)^2 \right]$$

ou

$$d_2 - d_1 = \frac{2h_t h_r}{d}$$

Il y a dégagement dans la première zone de Fresnel si la différence de longueur des trajets est inférieure à $\lambda/2$. Si la fréquence du signal émis est exprimée en MHz, il vient alors :

$$d_2 - d_1 \leq \frac{\lambda}{2} \rightarrow f \frac{h_t h_r}{d} \leq 75 \text{ MHz.m}$$

Avec $h_r = 10 \text{ m}$ et $h_t = h_t - h_v$

$$f \frac{(h_t - h_v)}{d} \leq 7,5 \text{ MHz}$$

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

 TELEVISION GHOST PREDICTION PROGRAM
 THIS METHOD IS BASED ON A STUDY DONE
 FOR THE DEPARTMENT BY E. W. HERRIGAN.
 PROGRAM PREPARED BY : J.S. DADOURIAN
 DEPARTMENT OF COMMUNICATIONS
 OTTAWA, CANADA
 DATE : APRIL 1989

DIMENSION H(1601),P(1601),F(47)
 DIMENSION CPA(1601),GV(1601)
 REAL LMB
 COMMON /COMO/ PI
 COMMON /COM1/ LMB
 COMPLEX CPA,CJ,CPAT
 CJ = (0.0,1.0)
 PI = 3.141592654
 10 OUTPUT(102)'ENTER TV FREQUENCY IN MHz'
 INPUT(101) FR
 IF(FR.GE.54..AND.FR.LE.804.) GO TO 20
 OUTPUT(102)'FREQUENCY OUT OF RANGE'
 GO TO 10
 20 LMB = 300./FR
 BE = 2.*PI/LMB
 22 OUTPUT(102)'ENTER NUMBER OF BAYS OF TRANSMIT. ANTENNA'
 OUTPUT(102)'(MAXIMUM 16)'
 INPUT(101) NBA
 IF(NBA.GT.16.OR.NBA.LT.1) OUTPUT(102)'UNACCEPTABLE';GO TO
 22
 CALL VERPAT(F,NBA)
 OUTPUT(102)'ENTER THE WIDTH OF GHOST TOWER IN METRES'
 INPUT(101) W
 OUTPUT(102)'ENTER THE NUMBER OF TOWER SIDES'
 OUTPUT(102)'(NORMALLY 3 OR 4 BUT HIGHER NUMBERS'
 OUTPUT(102)'ARE ALSO ACCEPTABLE)'
 INPUT(101) NS
 AL = NS*W/LMB
 IF(AL.LE.9.) GO TO 25
 IF(FR.GT.216.AND.AL.LE.30.) GO TO 25
 OUTPUT(102)'TOWER TOO WIDE, ACCURATE GHOST'
 OUTPUT(102)'PREDICTIONS CANNOT BE MADE'
 GO TO 120
 25 OUTPUT(102)'THE REFERENCE PLANE SHOULD BE AT'
 OUTPUT(102)'AT THE BASE OF THE GHOST TOWER'
 OUTPUT(102)' '
 OUTPUT(102)'ENTER HEIGHT OF TRANSMITTER TOWER'
 OUTPUT(102)'ABOVE REFERENCE PLANE IN METRES'
 INPUT(101) HT
 OUTPUT(102)'TRANSMITTER TOWER IS THE CENTRE'
 OUTPUT(102)'OF POLAR CO-ORDINATES SYSTEM'
 OUTPUT(102)' '
 OUTPUT(102)'ENTER DISTANCE TO GHOST TOWER IN METRES'
 INPUT(101) DG

```

IF(DG.GE.75.) GO TO 30
OUTPUT(102)'GHOST DELAYS TOO SHORT, PICTURE QUALITY'
OUTPUT(102)'CANNOT BE ASSESSED'
GO TO 120
30 OUTPUT(102)'ENTER HEIGHT OF GHOST TOWER'
OUTPUT(102)'ABOVE REFERENCE PLANE IN METRES'
INPUT(101) HG
HGL = HG/LMB
OUTPUT(102)'ENTER AZIMUTH OF GHOST TOWER IN DEGREES'
OUTPUT(102)'RELATIVE TO TRUE NORTH'
INPUT(101) AG
OUTPUT(102)'ENTER RELATIVE HORIZ. FIELD AT GHOST TOWER
AZI.'
INPUT(101) FG
40 OUTPUT(102)'ENTER DISTANCE TO VIEWER IN METRES'
OUTPUT(102)'(ENTER 0.0 TO STOP)'
INPUT(101) DV; IF(DV.LE.0.0) STOP
OUTPUT(102)'ENTER HEIGHT OF VIEWER ABOVE(+)/BELOW(-)'
OUTPUT(102)'REFERENCE PLANE IN METRES'
INPUT(101) HV
OUTPUT(102)'ENTER AZIMUTH OF VIEWER IN DEGREES'
OUTPUT(102)'RELATIVE TO TRUE NORTH'
INPUT(101) AV
GMV = (AG-AV)*PI/180.
DGV = DG*DG + DV*DV - 2.*DG*DV*COS(GMV)
DGV = SQRT(DGV)
GS = ((DG-DV+DGV)*1.0E-8)/3.
GSM = GS*1.0E+6
50 OUTPUT(102)'ENTER RELATIVE HORIZ. FIELD AT VIEWERS AZI.'
INPUT(101) FV
RHF = FG/FV
RHF2 = RHF*RHF
CALL SIGMA(1.0,AL,SIG)
NGB = INT(HGL)
DO 60 I=1,NGB
  AH = (2*I-1)*LMB/2.
  H(I) = HG - AH
60 CONTINUE
DO 70 J=1,NGB
  V01 = ATAN2(HT-H(J),DG)
  V03 = ATAN2(HT+H(J),DG)
  V01 = V01*180./PI
  V03 = V03*180./PI
  V01 = ABS(V01)
  V03 = ABS(V03)
  RD2 = DG*DG + (HT-H(J))*(HT-H(J))
  RR2 = DG*DG + (HT+H(J))*(HT+H(J))
  RD = SQRT(RD2)
  RR = SQRT(RR2)
  CALL VPINTP(F,FV01,V01)
  CALL VPINTP(F,FV03,V03)
  CPA(J) = FV01*CEXP(-CJ*BE*RD)/RD
  CPA(J) = CPA(J) - FV03*CEXP(-CJ*BE*RR)/RR
  PA = FV01*FV01/RD2 + FV03*FV03/RR2

```

```

    PA = PA - 2.*FV01*FV03*COS(BE*(RD-RR))/(RD*RR)
    P(J) = PA
70  CONTINUE
    PRC = 0.0
    DO 80 K=1,NGB
        PRC = PRC + P(K)*H(K)
80  CONTINUE
    HRC = 0.0
    DO 90 K=1,NGB
        HRC = HRC + P(K)
90  CONTINUE
    HGRC = PRC/HRC
    OUTPUT(102)'EFFECTIVE HEIGHT OF THE CENTRE'
    OUTPUT(102)'OF RE-RAD OF GHOST TOWER IN METRES',HGRC
    RH1 = HGRC - HV
    RH2 = HT - HV
    RH = RH1/RH2
    RHSQ = RH*RH
    ANM = ATAN2(RH1,DGV)
    ANM = ANM*180./PI
    IF(ANM.LE.10.) GO TO 93
    OUTPUT(102)'DISTANCE TO VIEWER TOO SHORT FOR THIS CASE'
    OUTPUT(102)'DIFFICULT TO MAKE ACCURATE GHOST ESTIMATES'
    OUTPUT(102)' '
    GO TO 40
93  IF(ANM.LE.5.) GO TO 95
    OUTPUT(102)'***** WARNING *****'
    OUTPUT(102)'GHOST AMPLITUDE IS OVERRATED'
    OUTPUT(102)'THE ACTUAL PICTURE GRADE WILL'
    OUTPUT(102)'BE HIGHER AT THIS LOCATION'
    OUTPUT(102)' '
95  DO 96 K=1,NGB
        GV(K) = (H(K)-HV)*(H(K)-HV)
        GV(K) = GV(K) + DGV*DGV
        GV(K) = SQRT(GV(K))
96  CONTINUE
    DO 97 K=1,NGB
        CPA(K) = CPA(K)*CEXP(-CJ*BE*GV(K))/GV(K)
97  CONTINUE
    CPAT = (0.0,0.0)
    DO 98 K=1,NGB
        CPAT = CPAT + CPA(K)
98  CONTINUE
    RINT = CABS(CPAT)
    RINT = RINT*RINT
    V02 = ATAN2(RH2,DV)
    V02 = V02*180./PI
    CALL VPINTP(F,FV02,V02)
    RV = RINT/(FV02*FV02)
    AA = DV*LMB
    AA = AA*AA
    AA = AA*SIG
    AA = AA/(4.*PI)
    AA = AA*RHF2

```

```

AA = AA*RV
FRENT = 10.*FR*(HT-HV)/DV
FRENG = 10.*FR*(HGRC-HV)/DGV
IF(FRENT.LT.75..AND.FRENG.LT.75.) RHH=1.; GO TO 100
RHH = RHSQ
100 AA = AA*RHH
DBAA = 10.*LOG10(AA)
IF(FR.LT.470.) GO TO 110
CALL CORREC(AL,CR)
DBAA = DBAA - CR
110 OUTPUT(102)'RELATIVE GHOST AMPLITUDE IN dB = ',DBAA
OUTPUT(102)'GHOST DELAY IN MICROSECONDS = ',GSM
IF(GSM.GE.0.5) GO TO 115
OUTPUT(102)'DELAY TOO SHORT,'
OUTPUT(102)'PICTURE QUALITY CANNOT BE ASSESSED'
OUTPUT(102)' '
GO TO 40
115 CALL GRADE(DBAA,GSM,GR)
OUTPUT(102)'TELEVISION IMPAIRMENT GRADE = ',GR
GO TO 40
120 END

```

```

C SUBROUTINE TO CALCULATE THE CROSS-SECTION OF A CYLINDER.
SUBROUTINE SIGMA(RH,A,SI)
COMMON /COM0/ PI
PIO2 = PI/2.
IF(A.GT.3.) SI=A*RH*RH; GO TO 10
Z = A + 0.5
DFZ = 2.0 + 1.792*Z + 3.104*Z*Z
FZ = 1.0 + 0.926*Z
FZ = FZ/DFZ
DGZ = 2.0 + 4.142*Z + 3.492*Z*Z + 6.67*Z*Z*Z
GZ = 1./DGZ
ARGU = PIO2*Z*Z
SZ = 0.5 - FZ*COS(ARGU) - GZ*SIN(ARGU)
SI = PIO2*PIO2/1.2
SI = SI*RH*RH*A*(1.0-EXP(-4.*A*A))
SI = SI*SZ
10 RETURN
END

```

```

C SUBROUTINE TO DETERMINE THE RELATIVE VERTICAL
C FIELD BY LINEAR INTERPOLATION
SUBROUTINE VPINTP(F,FVO,V0)
DIMENSION F(1)
F(0) = 1.0
J = 1
10 IF(V0.LT.1.99*J) GO TO 20
J = J + 1
GO TO 10
20 FVO = F(J-1) + (V0-1.99*(J-1))*(F(J)-F(J-1))/1.99
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINE TO CORRECT THE GHOST AMPLITUDE
C   FOR UHF FREQUENCIES
SUBROUTINE CORREC(EC,CO)
IF(EC.LE.3.) CO=0.0; GO TO 20
IF(EC.GT.3.AND.EC.LE.10) GO TO 10
A1 = -4.1371
B1 = 21.1371
GO TO 15.
10  A1 = -15.5123
    B1 = 32.5123
15  CO = A1 + B1*ALOG10(EC)
20  RETURN
    END

```

```

C   SUBROUTINE TO CALCULATE THE PICTURE GRADE
SUBROUTINE GRADE(A,B,G)
U = 0.143*A*EXP(-0.637/B)
G = 6.0 - (U+6.65*EXP(-0.475/B))
IF(G.GT.5.0) G=5.0
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINE TO GENERATE THE VERTICAL PATTERN
C   OF AN 'N' BAYS TELEVISION ANTENNA SYSTEM
SUBROUTINE VERPAT(F,N)
DIMENSION F(1)
COMMON /COMO/ PI
DO 10 J=1,45
    THETA = 1.99*J
    THETA = THETA*PI/180.
    CTHE = COS(THETA)
    STHE = SIN(THETA)
    ARG1 = PI*STHE/2.
    FTH = COS(ARG1)/CTHE
    FTH = ABS(FTH)
    ARG2 = N*PI*STHE
    ARG3 = PI*STHE
    ETH = SIN(ARG2)
    ETH = ETH/SIN(ARG3)
    ETH = ABS(ETH)/N
    ETH = ETH*FTH
    ETH = ETH*ETH + 0.04
    ETH = SQRT(ETH)
    F(J) = ETH
10  CONTINUE
RETURN
END

```

Références

1. "Approximations for Calculating Fresnel Integrals", C. Hastings, Approximation Newsletter, avril 1956, Note 10.
2. "Television Engineering Handbook", K. Blair Benson, chapitre 8 par Oded Ben-Dov et Krishna Praba, McGraw Hill Book Company, 1986.
3. "The Distortion of AM Broadcast Antenna Patterns as Caused by Nearby Towers and Highrise Buildings", G.M. Royer, Centre de recherche sur les communications, MDC, Ottawa, rapport CRC n° 1379, mars 1985.
4. "Measurement and Evaluation of Television Signal Reflections", T.M. Gluyas, rapport présenté au 1978 Broadcasting Symposium, Washington, D.C.

