

## RECOMMANDATION UIT-R S.733-2

**DÉTERMINATION DU RAPPORT  $G/T$  DES STATIONS TERRIENNES  
DU SERVICE FIXE PAR SATELLITE**

(Question UIT-R 42/4)

(1992-1993-2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la principale caractéristique des stations terriennes du service fixe par satellite est le facteur de qualité représenté par le rapport gain de l'antenne/température de bruit du système ( $G/T$ );
- b) qu'il existe deux méthodes couramment employées de mesure du rapport  $G/T$ , dont chacune comporte des avantages spécifiques suivant la situation en présence, et une méthode de prévision,

*recommande*

- 1 d'utiliser comme méthode de détermination du rapport  $G/T$  la méthode s'appuyant sur la mesure de la puissance de bruit émanant d'une radiosource stellaire, indiquée à l'Annexe 1;
- 2 d'utiliser comme méthode alternative pour la détermination du rapport  $G/T$  la méthode s'appuyant sur la mesure d'un signal de référence émis depuis un satellite géostationnaire, indiquée à l'Annexe 2;
- 3 d'utiliser, en cas d'impossibilité d'application de l'une ou l'autre des méthodes ci-dessus, la mesure du gain d'antenne et l'estimation de la température de bruit du système;
- 4 que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la Recommandation.

NOTE 1 – Le rapport  $G/T$  d'une station terrienne peut se détériorer sous l'effet de divers phénomènes naturels. Les accroissements de la température de bruit à la réception dus à l'atmosphère et aux précipitations, au rayonnement du sol et aux sources extra-atmosphériques sont étudiés à l'Appendice 1 de la présente Recommandation.

NOTE 2 – L'Annexe 3 à la présente Recommandation donne des indications sur la détermination du rapport  $G/T$  de stations terriennes fonctionnant à des fréquences supérieures à 10 GHz et sur l'influence de diverses sources de bruit sur les performances des stations terriennes qui sont exploitées dans ces bandes de fréquences.

NOTE 3 – La précision de la méthode alternative indiquée au § 2 dépend de la précision de mesure de la puissance surfacique des émissions des satellites effectuée dans les stations terriennes de référence. Cette précision est de l'ordre de  $\pm 1$  dB. Des renseignements complémentaires sur la mesure du rapport  $G/T$  des systèmes de réception sont donnés dans le Rapport 276, Volume I de l'ex-CCIR (Contrôle des émissions radioélectriques en provenance de vaisseaux spatiaux par les stations fixes de contrôle des émissions) et dans la 3<sup>e</sup> partie de la Publication 835 de la Commission Electrotechnique International (CEI).

## ANNEXE 1

**Mesure du rapport  $G/T$  avec l'aide de radiosources stellaires****1 Introduction**

Il est souhaitable d'établir une méthode pratique pour mesurer avec une grande précision le rapport gain/température de bruit,  $G/T$ , afin de pouvoir comparer les valeurs mesurées dans les diverses stations. La présente Annexe contient la description d'une méthode permettant de mesurer directement le rapport  $G/T$  à l'aide de radiosources stellaires. Il convient de noter cependant que la méthode utilisant des radiosources stellaires n'est pas d'un emploi pratique dans certains cas (voir le § 5).

## 2 Méthode de mesure

Le rapport  $G/T$  peut se calculer au moyen de la formule ci-dessous, une fois mesuré le rapport,  $r$ , des puissances de bruit à la sortie du récepteur:

$$\frac{G}{T} = \frac{8 \pi k (r-1)}{\lambda^2 \Phi(f)} \quad (1)$$

où:

$k$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K<sup>-1</sup>)

$\lambda$ : longueur d'onde (m)

$\Phi(f)$ : puissance surfacique spectrale du rayonnement de la radiosource stellaire en fonction de la fréquence  $f$  (W/(m<sup>2</sup> · Hz))

$r = (P_n + P_{st}) / P_n$

$P_n$ : puissance de bruit correspondant à la température de bruit du système  $T$

$P_{st}$ : puissance de bruit supplémentaire quand l'antenne est pointée exactement vers la radiosource stellaire

$G$  (gain de l'antenne) et  $T$  (température de bruit du système) sont rapportés à l'entrée du récepteur.

Dans la formule (1), il est tenu compte de ce que le rayonnement de l'étoile est en général polarisé de façon aléatoire et qu'on en reçoit une partie seulement, correspondant à la polarisation de réception. La puissance surfacique du rayonnement  $\Phi(f)$  est fournie par des mesures radioastronomiques.

Un avantage fondamental existe ici par rapport au calcul de  $G/T$  à partir des valeurs  $G$  et  $T$  mesurées séparément. Au lieu de deux mesures absolues, il suffit d'une mesure relative pour déterminer le rapport.

## 3 Radiosources stellaires appropriées

Les radiosources discrètes Cassiopée A, Cygnus A et Taurus A semblent être les plus appropriées pour la mesure du rapport  $G/T$  par les stations terriennes dans l'hémisphère nord, tandis que Orion, Virgo et Omega sont tout aussi appropriées pour les stations terriennes dans l'hémisphère sud. Toutefois, la densité de flux de Cygnus A et celle de Virgo peuvent se révéler insuffisante dans certains cas. Le Tableau 1 donne des valeurs de la densité spectrale des radiosources citées plus haut, où la fréquence est comprise entre 1 et 20 GHz.

TABLEAU 1

Densités spectrales de puissance surfacique de radiosources

Radiosource	Densité spectrale à $f$ GHz (W/(m <sup>2</sup> · Hz))
Cassiopée A	$\Phi(f)_{CasA} = 10^{-26} \times 10^{[5,745 - 0,770 \log_{10}(1\,000\,f)]}$ <sup>(1)</sup>
Taurus A	$\Phi(f)_{TauA} = 10^{-26} \times 10^{[3,794 - 0,278 \log_{10}(1\,000\,f)]}$
Cygnus A	$\Phi(f)_{CygA} = 10^{-26} \times 10^{[7,256 - 1,279 \log_{10}(1\,000\,f)]}$
Orion	$\Phi(f)_{Orion} = 10^{-26} \times 10^{[3,317 - 0,204 \log_{10}(1\,000\,f)]}$
Virgo	$\Phi(f)_{Virgo} = 10^{-26} \times 10^{[6,541 - 1,289 \log_{10}(1\,000\,f)]}$
Omega	$\Phi(f)_{Omega} = 10^{-26} \times 10^{[4,056 - 0,378 \log_{10}(1\,000\,f)]}$

(1) Valeur de janvier 1980 (voir le § 4.2).

Pour les mesures à des fréquences supérieures à 10 GHz, il pourrait être intéressant de se servir des ondes radioélectriques provenant de planètes, par exemple Vénus, au même titre que les radiosources stellaires susmentionnées. Les puissances surfaciques des ondes radioélectriques émises par les planètes augmentent avec la fréquence et leur angle solide est très petit, ce qui rend négligeables les erreurs dues à l'extension angulaire. La densité de flux  $\Phi(f)$  a pour expression:

$$\Phi(f) = \frac{4 \pi k T b(f)}{\lambda^2} (1 - \cos \psi) \quad (2)$$

où:

$Tb(f)$ : température de brillance d'une planète (K)

$\psi$ : demi-diamètre.

La valeur de  $\Phi(f)$ , qu'on déduit de la formule (2), est à introduire dans la formule (1) pour obtenir la valeur de  $G/T$  d'une station terrienne. La valeur de  $\psi$  peut se trouver dans American Ephemeris and Nautical Almanac (US Government Printing Office, Washington DC 20402). Dans le cas de la planète Vénus, les valeurs de  $Tb(f)$  sont estimées à 580 K et 506 K respectivement à 15,5 et 31,6 GHz. Comme les valeurs de  $Tb(f)$  sont fondées sur un nombre limité de données mesurées aux deux fréquences considérées, et qu'elles n'ont pas encore été déterminées pour d'autres fréquences, des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer et développer les résultats indiqués ici.

#### 4 Termes de correction

La valeur corrigée du rapport  $G/T$  s'exprime par:

$$(G/T)_c = G/T + C_1 + C_2 + C_3 \quad (3)$$

où:

$C_1$ : correction pour l'absorption atmosphérique

$C_2$ : correction pour la largeur angulaire des radiosources stellaires

$C_3$ : correction pour la variation du flux avec le temps.

Tous ces termes doivent être exprimés en dB.

Il est possible d'estimer la valeur de la correction d'absorption atmosphérique,  $C_1$ , d'après les indications du § 2.2 de la Recommandation UIT-R P.676.

##### 4.1 Largeur angulaire des radiosources stellaires

Si la largeur angulaire de la radiosource stellaire dans le ciel est sensiblement supérieure à l'ouverture du faisceau d'antenne, il faut appliquer une correction. Les équations suivantes sont de bonnes approximations du terme de correction de la largeur angulaire,  $C_2$ , également tracé point par point dans la Fig. 1.

$$C_2 \approx -10 \log_{10} \left[ \frac{ABS(1 - e^{-\chi^2})}{\chi^2} \right]$$

où:

$$\chi_{Cass A} \approx \chi_{Tau A} \approx \chi_{Orion} \approx \chi_{Virgo} \approx \chi_{Omega} \approx \frac{4,6}{1,2012 \theta_{3 \text{ dB}} \times 60}$$

$$\chi_{Cyg A} \approx \frac{2,5}{1,2012 \theta_{3 \text{ dB}} \times 60}$$

$$\theta_{3 \text{ dB}} = \frac{62 \times \lambda}{D}$$

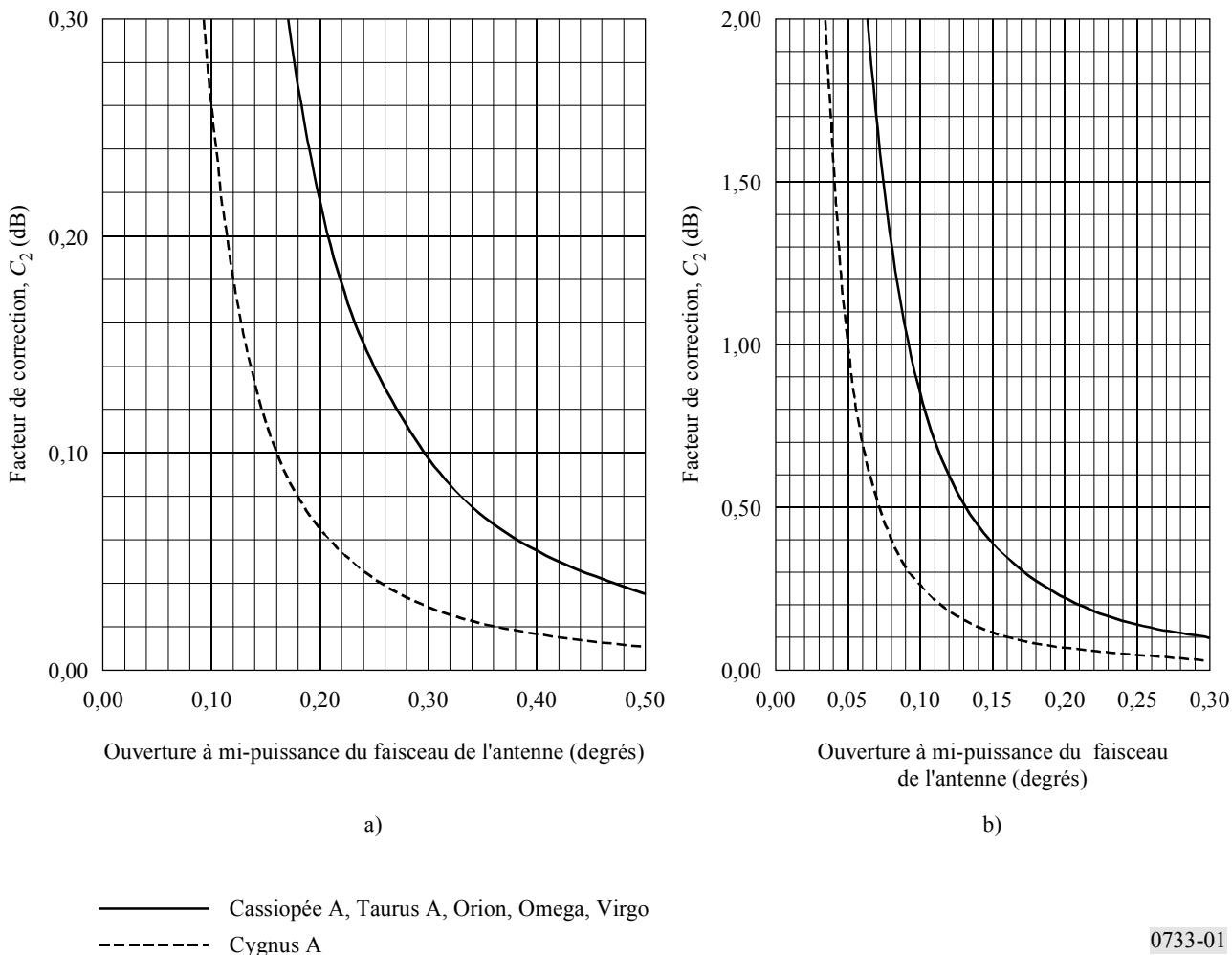
: ouverture du faisceau à 3 dB (degrés)

$\lambda$ : longueur d'onde (m)

$D$ : diamètre d'antenne (m).

FIGURE 1

## Facteur de correction pour la largeur angulaire de radiosources stellaires



La distribution de la brillance mesurée pour Cygnus A peut être décrite convenablement par un modèle en forme de double colonne de 0,02 min d'arc dans chaque diamètre de colonne séparée par une distance angulaire de 2,06 min d'arc.

Si le modèle en anneau pour Cassiopee A et le modèle à double colonne pour Cygnus A sont adoptés, on dispose d'approximations appropriées pour le terme de correction. Ces modèles peuvent aussi être utiles pour mesurer l'ouverture du faisceau de l'antenne à mi-puissance en observant la largeur de la courbe de dérive à mi-intensité. Il s'ensuit que le terme de correction de l'étendue angulaire des radiosources stellaires peut être déterminé à partir de la courbe de dérive observée même sans qu'il soit nécessaire de connaître l'ouverture du faisceau de l'antenne à mi-puissance.

## 4.2 Variation du flux avec le temps

Cassiopee A se caractérise par une diminution de flux avec le temps, en fonction de la fréquence. Cette correction peut se faire avec le terme:

$$C_3 = -10 \log_{10} \left[ 1 - \frac{0,97 - 0,3 \log_{10} f}{100} \right]^n \quad \text{dB} \quad (4)$$

où:

$n$ : nombre des années écoulées,  $n = 0$  en janvier 1980

$f$ : fréquence (GHz).

### 4.3 Effets de polarisation

Taurus A, Cygnus A, Orion, Virgo et Omega sont polarisées elliptiquement et il faut utiliser la moyenne de deux lectures relevées dans deux directions orthogonales. Lorsqu'on effectue des mesures à l'aide de Cassiopée A, ces précautions sont inutiles.

## 5 Limites de la méthode des radiosources stellaires

La méthode décrite dans la présente Annexe comporte plusieurs inconvénients et, en particulier:

- la précision n'est pas très bonne pour les stations terriennes relativement petites; cependant, compte tenu des équipements modernes et de la rigueur des mesures, des mesures de gain d'antenne systématiquement précises peuvent être obtenues grâce à des facteurs  $\gamma > 0,2$  dB (voir le Tableau 2 indiquant des dimensions minimales approximatives d'antennes);
- cette technique n'est pas toujours réalisable pour les stations offrant des possibilités de pointage limitées.

TABLEAU 2

**Diamètre minimum d'antenne autorisé pour l'utilisation d'une radiosource stellaire  
afin de mesurer le gain d'antenne, en prenant pour hypothèse un angle  
d'élévation de 25° et des facteurs  $\gamma > 0,2$  dB**

Radiosource stellaire	Diamètre minimum d'antenne dans la bande C (m) ( $T_{sys} = 78$ K)		Diamètre minimum d'antenne dans la bande Ku (m) ( $T_{sys} = 130$ K)	
	Antenne Cassegrain	Antenne à foyer principal	Antenne Cassegrain	Antenne à foyer principal
Cassiopée A	4,6	5,4	9,3	11,0
Taurus A	5,1	5,9	8,0	9,5
Cygnus A	6,0	6,0	16,0	18,5

## APPENDICE 1

### A L'ANNEXE 1

## Contributions à la température de bruit d'une antenne de réception de station terrienne

### 1 Introduction

La température de bruit de l'antenne d'une station terrienne est l'un des éléments de la température de bruit d'un système de réception; elle peut comprendre des contributions liées aux éléments atmosphériques (vapeur d'eau, nuages ou précipitations) en plus du bruit provenant de sources extraterrestres tel que le bruit solaire ou cosmique. Les bruits produits par l'environnement de l'antenne (bruit artificiel et signaux brouilleurs) ainsi que le bruit thermique produit par le système de réception, qui peuvent parvenir aux bornes de l'antenne, peuvent aussi contribuer à la température de bruit de l'antenne de la station terrienne. De nombreux facteurs contribuent à la température de bruit de l'antenne et notamment ceux qui dépendent des conditions météorologiques ne sont pas stables et le bruit qui en résulte aura donc une distribution statistique dans le temps. Connaître ces facteurs et leurs variations prévues aiderait beaucoup les concepteurs de stations terriennes; il est donc nécessaire de rassembler des données sur les caractéristiques de température de bruit des antennes de stations terriennes existantes d'une manière qui puisse être utilisée au mieux à l'avenir.

On trouvera dans le présent Appendice les résultats de mesures de température de bruit d'antenne effectuées aux fréquences 11,45, 11,75, 17,6, 18,4, 18,75 et 31,65 GHz. Les résultats mesurés à 17,6 et 11,75 GHz ont permis d'établir une distribution cumulative des températures et de déterminer l'influence de la température de bruit par temps clair sur l'angle de site.

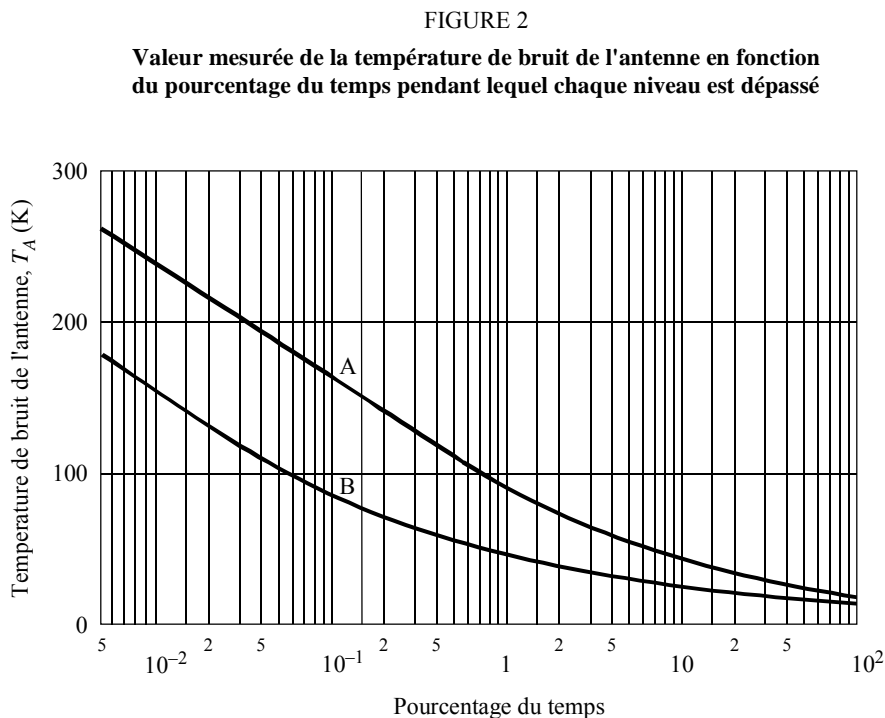
## 2 Matériel de mesure

Les mesures ont été effectuées aux Pays-Bas en utilisant une série de radiomètres munis d'une antenne Cassegrain de 10 m alimentée par un cornet cannelé. Ces mesures ont aussi été effectuées au Japon à l'aide de radiomètres de type Dicke et de type à adjonction de bruit, équipés d'antennes Cassegrain de 10 m et 13 m et d'une antenne Cassegrain avec alimentation excentrée de 11,5 m.

Pour les mesures de bruit effectuées en Allemagne sur une antenne de 18,3 m de diamètre, on a utilisé la méthode du facteur  $\gamma$ , par atmosphère claire.

## 3 Résultats des mesures

La Fig. 2 représente les distributions cumulatives de la température de bruit d'antenne mesurée à 11,75 et 17,6 GHz. Les valeurs portées sur cette figure sont celles que l'on a mesurées sur le bord de sortie du cornet.



Courbes A: 17,6 GHz, 7200 h

B: 11,75 GHz, 8100 h

Diamètre de l'antenne: 10 m

Angle d'élévation: 30°

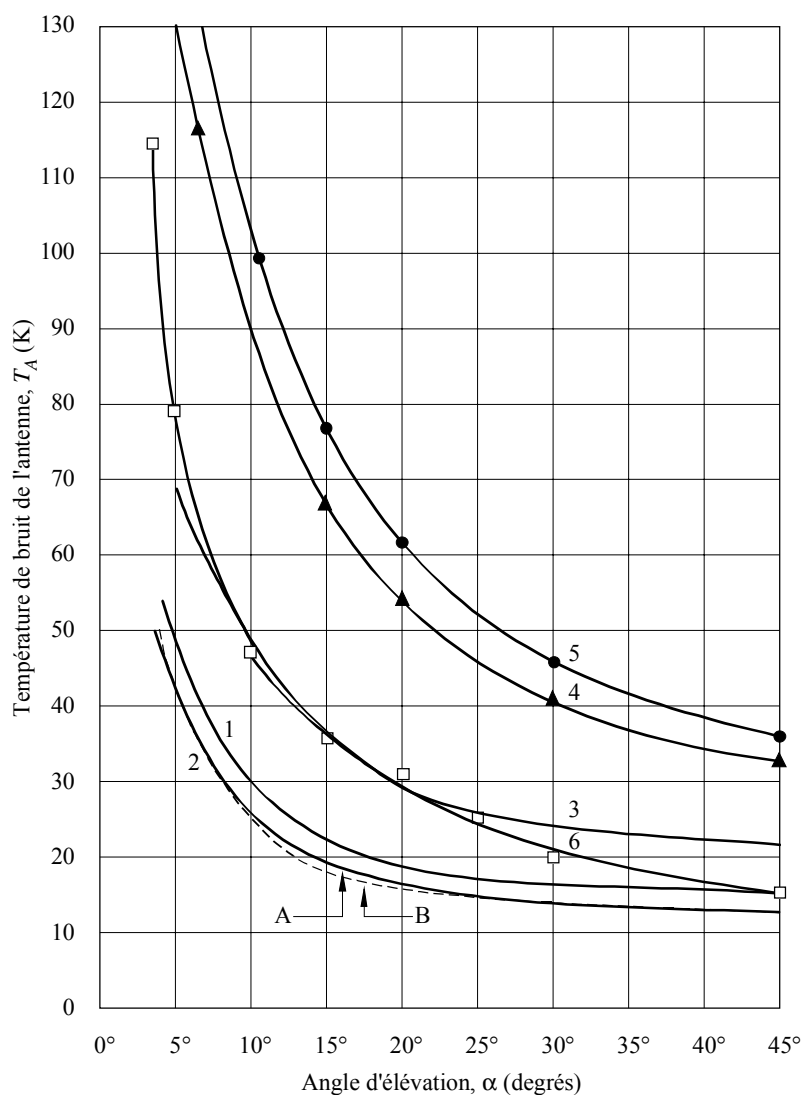
0733-02

La température de bruit de l'antenne est surtout due à l'affaiblissement atmosphérique. Les effets cosmiques et le rayonnement provenant du sol y contribuent également.

Les mesures dont les résultats sont représentés sur la Fig. 2 ont eu lieu alors que l'angle d'élévation de l'antenne était de 30°. Elles ont été effectuées entre août 1975 et juin 1977. Les conditions qui ont prévalu pendant cette période peuvent être considérées comme typiques de la pluviosité locale.

La Fig. 3 représente la façon dont la température de bruit de l'antenne dépend de son angle d'élévation, par atmosphère claire. Les valeurs de la Fig. 3 correspondent à celles de la Fig. 2 pour un pourcentage du temps de 50%. Une analyse des résultats de la Fig. 3 a montré que la température de bruit de l'antenne a deux composantes, dont l'une dépend de l'angle d'élévation et dont l'autre est pratiquement constante.

FIGURE 3  
 Température de bruit de l'antenne,  $T_A$ , en fonction de l'angle  
 d'élévation,  $\alpha$ , de l'antenne par atmosphère claire



Note 1 – Pour les caractéristiques des courbes 1 à 6, se reporter au Tableau 3.

Note 2 – Les mesures ont été faites dans les conditions suivantes:

Caractéristiques	Température (K)	Humidité relative (%)	Humidité absolue (g/m <sup>3</sup> )	Pression barométrique (mbar)
Courbes 1 et 3	279	82	6	1 016
Courbe 2	294	51	10	1 018
A: calculé } B: mesuré }				
Courbe 4 ▲: mesuré	296	50	10	1 006
Courbe 5 ●: mesuré	290	49	7	1 013
Courbe 6 □: mesuré	281,5	66	6	1 017

Cette composante constante résulte:

- du rayonnement de fond cosmique en hyperfréquence d'environ 2,8 K;
- du bruit provenant du rayonnement de la Terre; cette contribution varie légèrement avec l'angle d'élévation de l'antenne en raison de la forme des lobes latéraux de son diagramme de rayonnement. Il y a lieu de s'attendre à une valeur de 4 à 6 K de cette provenance;
- du bruit dû aux pertes ohmiques du système d'antenne, de l'ordre de 0,04 dB; cette contribution doit être de 3 à 4 K.

La composante de la température de bruit de l'antenne liée à l'angle d'élévation est due aux pertes dans la vapeur d'eau et l'oxygène de l'atmosphère. Pour estimer sa valeur, on peut représenter les courbes expérimentales à la Fig. 3 par la formule suivante, qui donne une précision allant jusqu'à 1% pour des angles d'élévation supérieurs à 15°:

$$T_A = T_c + T_m \left( 1 - \beta_0^{\operatorname{cosec} \alpha} \right) \quad \text{K} \quad (5)$$

dans laquelle:

$T_A$ : température de bruit de l'antenne

$T_c$ : composante constante de la température de bruit

$T_m$ : température moyenne de rayonnement du milieu absorbant

$\beta_0$ : coefficient de transmission de l'atmosphère dans la direction du zénith

$\alpha$ : angle d'élévation de l'antenne.

Pour des angles d'élévation compris entre 5° et 90°, les constantes de la fonction  $T_A$  sont celles qui sont indiquées au Tableau 3.

D'après les constantes indiquées au Tableau 3 et pour  $\alpha = 90^\circ$  dans la formule (5), le second membre de cette expression donne la température du ciel au zénith due à l'absorption atmosphérique. On peut calculer la température de brillance au zénith en ajoutant la température du ciel au zénith et la température du rayonnement cosmique en hyperfréquence. Dans ce cas particulier, où les pertes dans l'atmosphère sont très faibles, on peut se contenter d'une simple addition.

TABLEAU 3

N° de référence (voir la Fig. 3)	Fréquence (GHz)	Diamètre de l'antenne (m)	$T_c$ (K)	$\beta_0$	Technique de mesure	Station de référence
1	11,75	10	8,3	0,9858	Radiomètre	10 m OTS Pays-Bas
2	11,45	18,3	7,3	0,988	Facteur $\gamma$	18,3 m OTS/IS-V Allemagne
3	17,6	10	8,3	0,9738	Radiomètre	10 m OTS Pays-Bas
4	18,4	13	9,3	0,940	Radiomètre	13 m CS Japon
5	31,65	10	11,5	0,934	Radiomètre	10 m ECS Japon
6	18,75	11,5	4,5	0,970	Radiomètre	11,5 m CS Japon

On peut encore calculer la température du ciel au zénith en prenant comme paramètre l'humidité à la surface de la Terre. Le résultat de ces calculs ainsi que les valeurs trouvées par les mesures sont résumés dans le Tableau 4.



TABLEAU 4

Fréquence (GHz)	Température du ciel au zénith		Valeurs mesurées de la température de brillance au zénith (K)
	Valeurs calculées (K)	Valeurs mesurées (K)	
11,75	3,2	3,9	6,7
17,6	7,8	7,2	10,0
18,4	14,7	16,7	19,5
31,65	14,3	18,3	21,1

## ANNEXE 2

## Mesure du rapport $G/T$ au moyen d'un signal provenant d'un satellite géostationnaire

### 1 Introduction

La méthode décrite dans la présente Annexe utilise un signal provenant d'un satellite géostationnaire au lieu des émissions d'une radiosource stellaire. De ce fait, plusieurs inconvénients de la méthode décrite à l'Annexe 1 sont évités.

### 2 Méthode de mesure

Cette méthode consiste à remplacer le signal provenant d'une radiosource stellaire par le signal d'un satellite. La mesure porte donc sur le rapport  $G/T$ , non de la somme des puissances du signal de la radiosource et du bruit, rapportée à la puissance de bruit, mais de la somme des puissances du signal total du satellite et du bruit, rapportée à la puissance de bruit. Puisqu'un signal de bruit provient également du satellite, en raison notamment du facteur de bruit de son récepteur, ce bruit supplémentaire doit être pris en compte. De plus, il faut disposer d'une station terrienne de référence caractérisée par des valeurs connues du rapport  $G/T$  et du gain à la réception vis-à-vis du satellite utilisé pour la mesure, pour effectuer une mesure de la puissance de sortie du satellite en même temps que la station terrienne de mesure.

Le rapport  $G/T$  peut se calculer par la formule ci-dessous, une fois mesuré le rapport  $r$  égal à la somme de la puissance du signal du satellite et de la puissance de bruit rapportée à la puissance de bruit:

$$G/T = [(k B L A) / E] \cdot [(r - 1) - (T_{sat} / T)]$$

avec:

$k$ : constante de Boltzmann

$B$ : largeur de bande du bruit du récepteur de la station terrienne (Hz)

$L$ : affaiblissement de transmission en espace libre

$A$ : facteur de correction de l'antenne du satellite

$E$ : p.i.r.e. dans l'axe du faisceau du satellite (W)

$T_{sat}$ : température de bruit de la station terrienne imputable au satellite (K)

$T$ : température de bruit du système de la station terrienne (K)

$$r = (C + k T_{sat} B + k T B) / (k T B)$$

$C$ : puissance de la porteuse de l'émetteur du satellite mesurée au niveau de la station terrienne réceptrice (W).

### 3 Limites de la méthode

Si l'on utilise des signaux qui proviennent d'une station terrienne pour les trajets montants, et non un signal de balise du satellite, la mesure de  $T_{sat}$  s'avère particulièrement difficile. Pour surmonter cet obstacle, il y a lieu de donner au rapport  $r$  une valeur aussi élevée que possible. En négligeant le bruit imputable au satellite, la relation permettant de calculer  $G/T$  s'écrit comme suit:

$$G/T = [k B L A \cdot (r - 1)] / E$$

Cette approximation introduit une erreur dont la valeur est donnée par la formule:

$$d = (r - 1) / [(r - 1) - (T / T_{sat})]$$

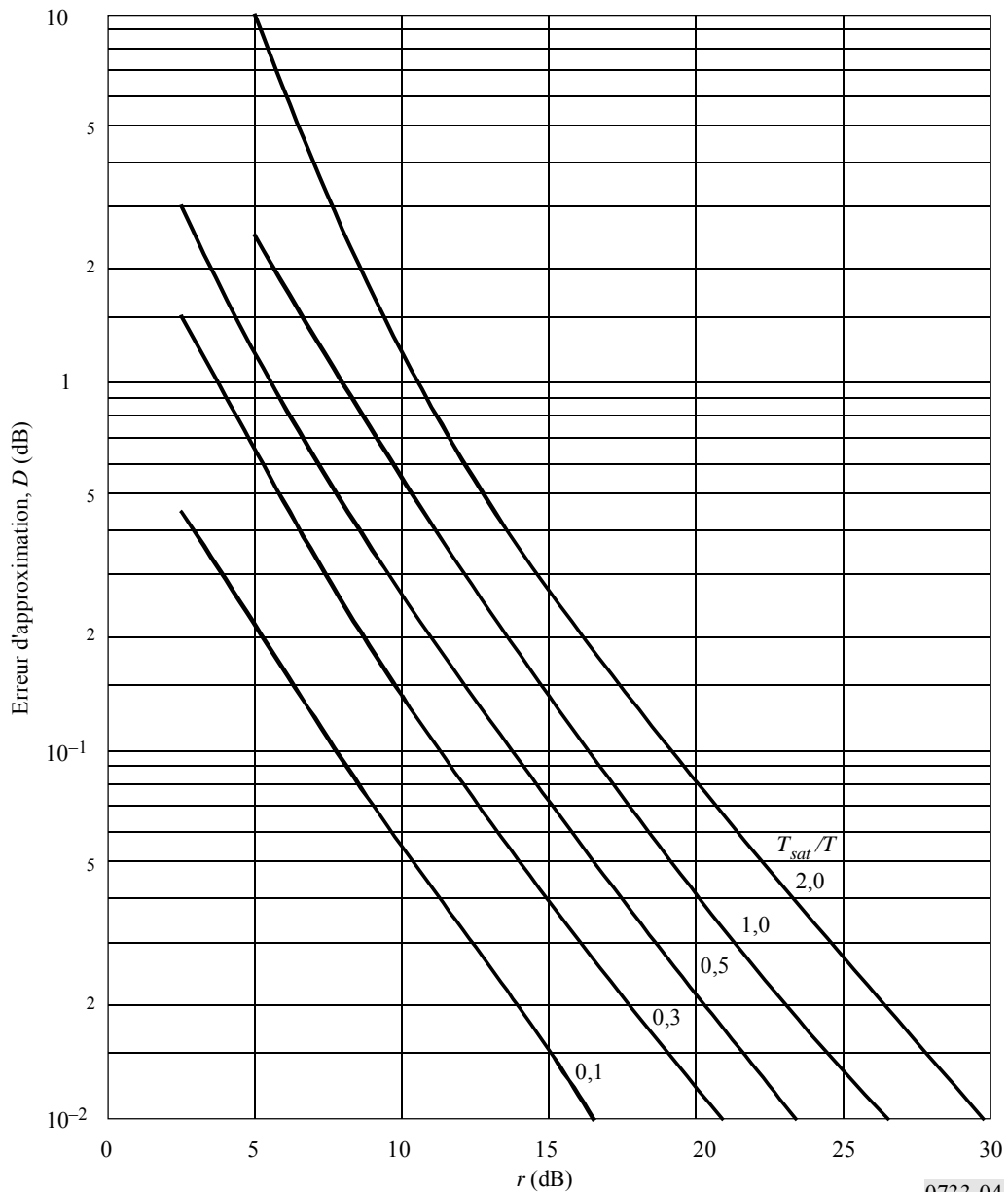
soit en décibels:

$$D = 10 \log [(r - 1) / [(r - 1) - (T / T_{sat})]]$$

Cette erreur peut être déterminée d'après la Fig. 4, suivant la valeur du paramètre  $T / T_{sat}$ .

FIGURE 4

Erreur d'approximation  $D$  en fonction de  $r$  suivant la valeur du paramètre  $T_{sat} / T$



## ANNEXE 3

## Méthode de détermination des caractéristiques d'antenne de station terrienne aux fréquences supérieures à 10 GHz

### 1 Introduction

Dans les systèmes de télécommunications par satellite fonctionnant aux fréquences supérieures à 10 GHz, les spécifications imposées aux stations terriennes et, en particulier, le facteur de qualité  $G/T$  de ces stations, font nécessairement intervenir l'affaiblissement dû à l'atmosphère et aux précipitations. Cet affaiblissement est généralement spécifié pour un pourcentage de temps qui est déterminé en fonction de la disponibilité désirée pour le système.

La spécification du facteur de qualité  $G/T$  doit tenir compte de l'affaiblissement:

- d'une part directement, puisque cet affaiblissement conduit à augmenter le  $G/T$  requis;
- d'autre part indirectement, puisque cet affaiblissement entraîne un accroissement de la température de bruit,  $T$ .

Les formules données ci-dessous doivent permettre de normaliser les méthodes de détermination des caractéristiques de l'antenne, compte tenu de l'affaiblissement.

### 2 Spécification du facteur de qualité

La formule générale spécifiant le facteur de qualité  $G/T$  des stations terriennes aux fréquences supérieures à 10 GHz est établie comme suit:

$$\frac{G}{T_i} - L_i \geq \left( K_i + 20 \log \frac{F}{F_0} \right) \quad \text{dB(K}^{-1}\text{)} \quad (6)$$

dans la bande de réception des fréquences  $F$  pendant au moins  $(100 - P_i)\%$  du temps.

$L_i$  exprimé en dB, est l'affaiblissement supplémentaire sur la liaison descendante associé aux conditions climatiques propres à l'emplacement de la station terrienne considérée par rapport aux conditions nominales d'atmosphère claire.

$T_i$  est la température de bruit du système récepteur compte tenu du bruit imputable à  $L_i$  et ramenée à l'entrée de l'amplificateur à faible bruit du système récepteur.

On peut citer l'exemple suivant:

La double spécification suivante se rapporte aux stations terriennes du réseau européen (EUTELSAT) utilisant un système AMRT-TV dans la bande des 11-12/14 GHz:

$$\begin{aligned} \frac{G}{T_1} - L_1 &\geq \left( 37 + 20 \log \frac{F}{11,2} \right) && \text{dB(K}^{-1}\text{)} && \text{par atmosphère claire} \\ \frac{G}{T_2} - L_2 &\geq \left( 26,5 + 20 \log \frac{F}{11,2} \right) && \text{dB(K}^{-1}\text{)} && \text{pendant au moins 99,99\% de l'année.} \end{aligned}$$

### 3 Modèle de calcul

On se propose d'établir une relation  $D = f(L_i, K_i, T_R)$  permettant de déterminer le diamètre d'ouverture circulaire  $D$  à donner à l'antenne d'une station terrienne dont le facteur de qualité  $G/T_i$  est spécifié selon la formule (6), et en tenant compte de la valeur  $T_R$  de la température de bruit des équipements de réception.

En tenant compte de la relation donnant le gain  $G$  de l'antenne:

$$G = 10 \log \left[ \eta \left( \frac{\pi D F}{c} \right)^2 \right]$$

la formule (6) peut s'écrire:

$$20 \log D \geq L_i + K_i + 10 \log T_i - 10 \log \eta + 20 \log \frac{c}{\pi F_0} \quad (7)$$

où:

$D$ : diamètre d'antenne (m)

$c$ : vitesse de la lumière:  $3 \times 10^8$  m/s

$F_0$ : fréquence (GHz)

$\eta$ : rendement d'antenne à l'accès réception, à la fréquence  $F_0$

$L_i$ : facteur d'affaiblissement atmosphérique (par rapport aux conditions d'atmosphère claire) (dB)

$K_i$ : valeur spécifiée du facteur de qualité par atmosphère claire à la fréquence  $F_0$  (dB(K<sup>-1</sup>))

$T_i$ : température de bruit de la station, ramenée à l'accès réception (K).

La température de bruit de la station terrienne  $T_i$ , est représentée avec une bonne approximation par la formule:

$$T_i = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) + \frac{1}{\alpha} [T_c + T_s + (\alpha - 1)T_{phys}] + T_R \quad \text{K} \quad (8)$$

où:

$T_c$ : température de bruit d'antenne due à l'atmosphère claire

$T_s$ : température de bruit d'antenne due au sol

$T_{atm}$ : température physique de l'atmosphère et des précipitations

$T_{phys}$ : température physique des éléments non rayonnants de la source d'alimentation de l'antenne

$T_R$ : température de bruit des équipements de réception

$\alpha \geq 1$ : pertes ohmiques dues aux éléments non rayonnants de la source d'alimentation de l'antenne

$L'_i \geq 1$ : affaiblissement dû à l'atmosphère et aux précipitations

$$L'_i = \frac{L_i}{10^{10}}$$

$L_i$  étant exprimé en dB.

Il est commode d'exprimer la formule (8) de la façon suivante:

$$T_i = T_A + \Delta T_A + T_R \quad (9)$$

avec:

$T_A$ : température de bruit d'antenne dans les conditions de temps clair ( $L_i = 0$  dB)

$$T_A = \frac{T_c + T_s}{\alpha} + \frac{\alpha - 1}{\alpha} T_{phys} \quad (10)$$

$\Delta T_A$ : supplément de température de bruit d'antenne dû à l'affaiblissement par l'atmosphère et les précipitations

$$\Delta T_A = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) \quad (11)$$

La relation (8) ou la relation (9), portée dans la relation (7), permet de résoudre:

$$D = f(L_i, K_i, T_R)$$

moyennant la connaissance de données complémentaires relatives à des caractéristiques typiques d'antennes de stations terriennes travaillant dans la bande de fréquences considérée.

## 4 Exemple de calcul

On souhaite calculer le diamètre  $D$  à donner à une antenne pour station EUTELSAT répondant à la double spécification du § 2 et utilisant un système AMRT-TV dans la bande des 11-12/14 GHz.

### 4.1 Hypothèses

- Calculs effectués à  $F_0 = 11,2$  GHz, pour un angle d'élévation de l'ordre de  $30^\circ$  au-dessus de l'horizon.
- Caractéristiques de l'antenne à l'accès réception, à la fréquence  $F_0$ :

$$\eta = 0,67$$

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 15 \text{ K} \\ T_s = 10 \text{ K} \end{array} \right\} \text{ (valeurs typiques de contribution à la température de bruit d'antenne} \\ \text{pour un angle d'élévation de } 30^\circ, \text{ à } F_0 = 11,2 \text{ GHz)}$$

$$T_{atm} = 270 \text{ K}$$

$$T_{phys} = 290 \text{ K}$$

$$\alpha = 1,122 \text{ (pertes ohmiques} = 0,5 \text{ dB).}$$

- Les spécifications sont:

$$K_1 = 37 \text{ dB}$$

$$K_2 = 26,5 \text{ dB.}$$

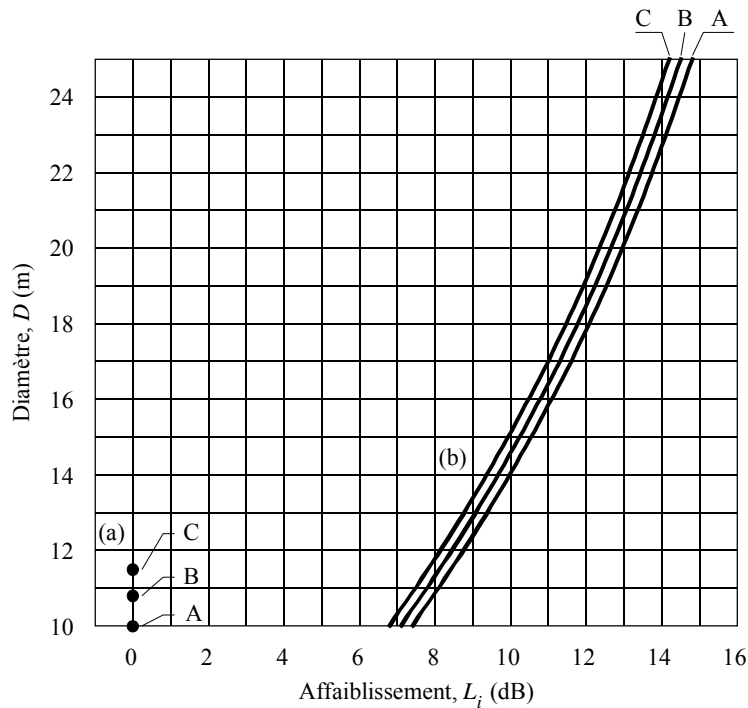
### 4.2 Résultats du calcul

La Fig. 5 fait apparaître deux séries de courbes:

$$D = f(L_i)$$

paramétrées selon la double spécification du facteur de qualité par atmosphère claire,  $K_i$  (voir le § 2) et selon trois valeurs de la température de bruit  $T_R$  des équipements de réception (130 K, 160 K et 190 K).

FIGURE 5  
Variation du diamètre d'antenne  $D$  en fonction  
de l'affaiblissement  $L_i$



Pour deux valeurs du facteur de qualité à 11,2 GHz:

(a):  $G/T_1 = 37 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$

(b):  $G/T_2 = 26,5 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$

et pour trois valeurs de la température de bruit  $T_R$  des équipements de réception:

A:  $T_R = 130 \text{ K}$

B:  $T_R = 160 \text{ K}$

C:  $T_R = 190 \text{ K}$

0733-05

Dans le cas de l'exemple traité, si  $T_R = 160 \text{ K}$  et si l'on souhaite implanter une station dans un emplacement où les données de propagation conduisent à:

$$L_1 = 0 \text{ dB par atmosphère claire}$$

$$L_2 \leq 8 \text{ dB pendant 99,99\% de l'année,}$$

on est conduit aux deux valeurs suivantes de diamètre d'antenne:

$$D_1 = 10,70 \text{ m}$$

$$D_2 = 1,40 \text{ m,}$$

il faut donc choisir  $D \geq 11,40 \text{ m}$ , pour se conformer aux exigences de la double spécification.