

RECOMMANDATION UIT-R S.1528

Diagrammes de rayonnement pour les antennes de satellite non géostationnaire utilisées dans le service fixe par satellite au-dessous de 30 GHz

(Question UIT-R 231/4)

(2001)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'utilisation d'antennes de station spatiale offrant les meilleurs diagrammes de rayonnement disponibles favorisera l'utilisation efficace du spectre des fréquences radioélectriques;
- b) que les stations spatiales en service utilisent des antennes dont les faisceaux sont aussi bien elliptiques que circulaires;
- c) que, malgré les progrès réalisés dans la conception des antennes de station spatiale, il faut réunir encore plus d'informations avant de pouvoir adopter un diagramme de rayonnement de référence aux fins de coordination;
- d) que l'adoption d'un diagramme de rayonnement à utiliser comme objectif de conception pour les antennes de station spatiale, encouragera la fabrication et l'utilisation d'antennes propres à favoriser l'utilisation efficace de l'orbite;
- e) qu'il faut seulement établir, aux fins de coordination, les caractéristiques de rayonnement des antennes de station spatiale dans la direction des brouillages possibles;
- f) que, pour qu'elles puissent être appliquées aussi largement que possible, les expressions mathématiques devraient être aussi simples que peut le permettre l'efficacité des prévisions;
- g) que les expressions devraient néanmoins rendre compte de caractéristiques propres à des systèmes d'antennes réalistes et être adaptables aux technologies émergentes;
- h) que les difficultés de mesure entraînent des inexactitudes dans la modélisation d'antennes de satellite à de grands angles hors axe;
- j) que les contraintes de taille des lanceurs conduisent à limiter les valeurs D/λ des antennes de satellite;
- k) qu'une antenne à faisceaux multiples sur l'orbite des satellites non géostationnaires (non OSG) doit illuminer la Terre selon un demi-cône de $\pm 30^\circ$ maximum dans le cas d'un satellite en orbite terrestre moyenne (MEO) et de $\pm 60^\circ$ maximum dans le cas d'un satellite en orbite terrestre basse (LEO);
- l) que la plupart des satellites du service fixe par satellite (SFS) non OSG sont programmés pour utiliser un nombre élevé de faisceaux, orientables ou fixes, par satellite;
- m) que le gain de crête d'une antenne à faisceaux multiples décroît tandis que le niveau des lobes latéraux augmente en fonction de l'angle de pointage des faisceaux hors axe;
- n) que les premier et deuxième lobes latéraux d'une antenne à faisceaux multiples peuvent être confondus dans le faisceau principal lorsque ce dernier est pointé en direction ou à proximité du bord de la Terre;
- o) que, dans le cas d'une antenne réelle, la diffraction sur le réflecteur principal, sur le réflecteur secondaire ou sur la structure, risque de nuire considérablement à la précision des estimations dans les régions des lobes latéraux internes-proches et externes-lointains;

p) que les diagrammes de rayonnement effectifs de certains types d'antenne à faisceaux multiples peuvent être très différents d'un faisceau à l'autre,

recommande

1 d'utiliser comme objectif technique ou aux fins d'analyse de brouillage les diagrammes de rayonnement ci-dessous pour les antennes de satellite non OSG à faisceaux multiples, circulaires ou elliptiques, du SFS:

1.1 diagrammes de rayonnement d'antenne mesurés

Pour réaliser une analyse de brouillage, il conviendrait d'utiliser les diagrammes de rayonnement d'antenne mesurés qui sont disponibles.

A défaut, on peut avoir recours à l'un ou à l'autre des diagrammes de référence définis dans les sections ci-après, soit:

1.2 le diagramme de référence donné par:

$$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^\alpha \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 0 < \psi \leq a\psi_b \quad (1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N + 20 \log(z) \quad \text{dBi} \quad \text{pour } a\psi_b < \psi \leq 0,5 b\psi_b \quad (2a)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 0,5 b\psi_b < \psi \leq b\psi_b \quad (2b)$$

$$G(\psi) = X - 25 \log(\psi) \quad \text{dBi} \quad \text{pour } b\psi_b < \psi \leq Y \quad (3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi} \quad \text{pour } Y < \psi \leq 90^\circ \quad (4a)$$

$$G(\psi) = L_B \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ \quad (4b)$$

où:

$$X = G_m + L_N + 25 \log(b\psi_b) \quad \text{et} \quad Y = b\psi_b 10^{0,04(G_m + L_N - L_F)}$$

ψ_b : demi-ouverture à 3 dB dans le plan considéré (3 dB en dessous de G_m) (degrés)

ψ_b : $\sqrt{1200}/(D/\lambda)$ pour le petit axe (utiliser des valeurs réelles si elles sont connues) (degrés)

ψ_b : (grand axe principal/petit axe) $\sqrt{1200}/(D/\lambda)$ pour le grand axe principal (utiliser des valeurs réelles si elles sont connues) (degrés)

$G(\psi)$: gain à l'angle ψ par rapport à la direction du faisceau principal (dBi)

G_m : gain maximum dans le lobe principal (dBi)

L_N : niveau du lobe latéral intérieur-proche (dB) par rapport au gain de crête exigé pour la conception du système

L_F : niveau du lobe latéral lointain de 0 (dBi)

L_B : niveau du lobe arrière (dBi)

z : (grand axe principal/petit axe) pour le faisceau rayonné

$L_B = 15 + L_N + 0,25 G_m + 5 \log z$ dBi ou 0 dBi, selon la valeur la plus élevée

D : diamètre de l'antenne (m)

λ : longueur d'onde au bord de la bande inférieure considérée (m).

Les valeurs numériques de a , b , et α pour $L_N = -15$ dB, -20 dB, -25 dB, et -30 dB (niveau des lobes latéraux) sont indiquées dans le Tableau 1. Les valeurs de a et α pour $L_N = -30$ dB nécessitent un complément d'étude. Les administrations sont invitées à fournir des données pour permettre de préciser les valeurs de a et α pour $L_N = -30$ dB.

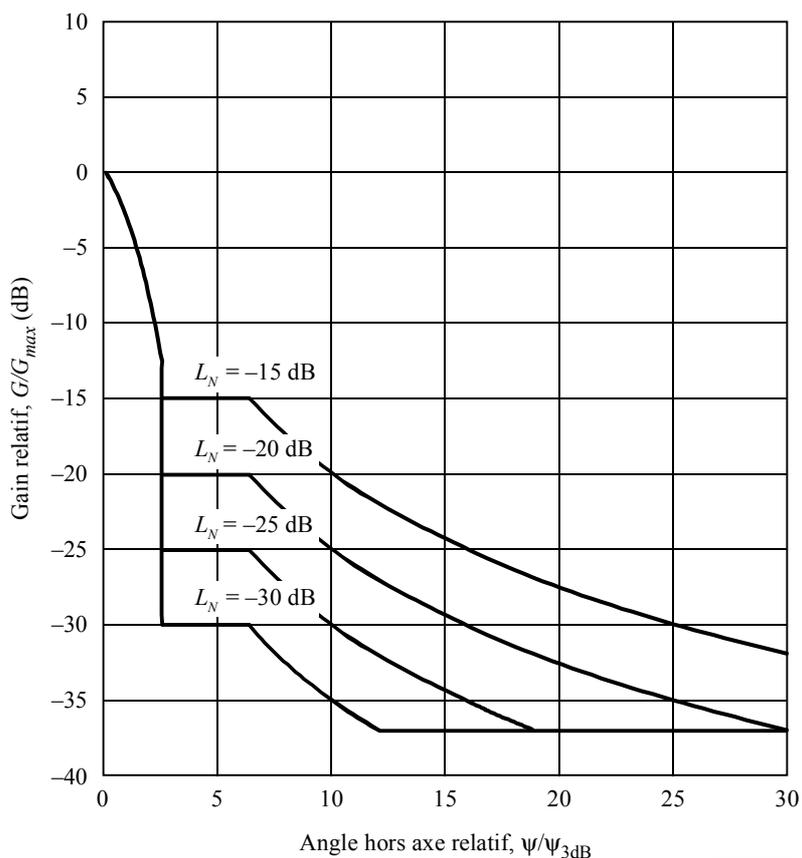
NOTE 1 – Les diagrammes correspondant aux faisceaux elliptiques exigent une vérification expérimentale; les valeurs de a et α du Tableau 1 sont provisoires.

TABLEAU 1

L_N (dB)	a	b	α
-15	$2,58\sqrt{1 - 1,4 \log(z)}$	6,32	1,5
-20	$2,58\sqrt{1 - 1,0 \log(z)}$	6,32	1,5
-25	$2,58\sqrt{1 - 0,6 \log(z)}$	6,32	1,5
-30	$2,58\sqrt{1 - 0,4 \log(z)}$	6,32	1,5

Le diagramme de rayonnement en gain relatif par rapport à ψ/ψ_b est indiqué dans la Fig. 1.

FIGURE 1
Enveloppes de rayonnement



1528-01

1.3 le diagramme de référence donné par:

Pour $D/\lambda < 35$:

$$\begin{array}{lll}
 G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{dBi} & \text{pour } \psi_b < \psi < Y \\
 G(\psi) = G_m + L_S - 25 \log(\psi/Y) & \text{dBi} & \text{pour } Y < \psi < Z \\
 G(\psi) = L_F & \text{dBi} & \text{pour } Z < \psi < 180^\circ
 \end{array}$$

Pour les systèmes MEO:

$$L_S = -12; \quad Y = 2 \psi_b$$

$$G(\psi) = 20 \log(D/\lambda) + 3,5 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 2 \psi_b < \psi < Z$$

Pour les systèmes LEO:

$$L_S = -6,75; \quad Y = 1,5 \psi_b$$

$$G(\psi) = 20 \log(D/\lambda) + 5,65 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 1,5 \psi_b < \psi < Z$$

où:

ψ : angle hors axe (degrés)

$G(\psi)$: gain à l'angle ψ par rapport à la direction du faisceau principal (dBi)

G_m : gain maximum dans le lobe principal (dBi)

ψ_b : demi-ouverture à 3 dB dans le plan considéré à l'angle hors axe le plus grand

L_S : point d'intersection du faisceau principal et du gabarit de lobes latéraux intérieurs-proches (dB) au-dessous du gain de crête

L_F : niveau du lobe latéral extérieur-lointain (dBi), ~ 0 dBi pour un diagramme idéal

$$Y = \psi_b (-L_S/3)^{1/2}$$

$$Z = Y \times 10^{0,04(G_m + L_S - L_F)}$$

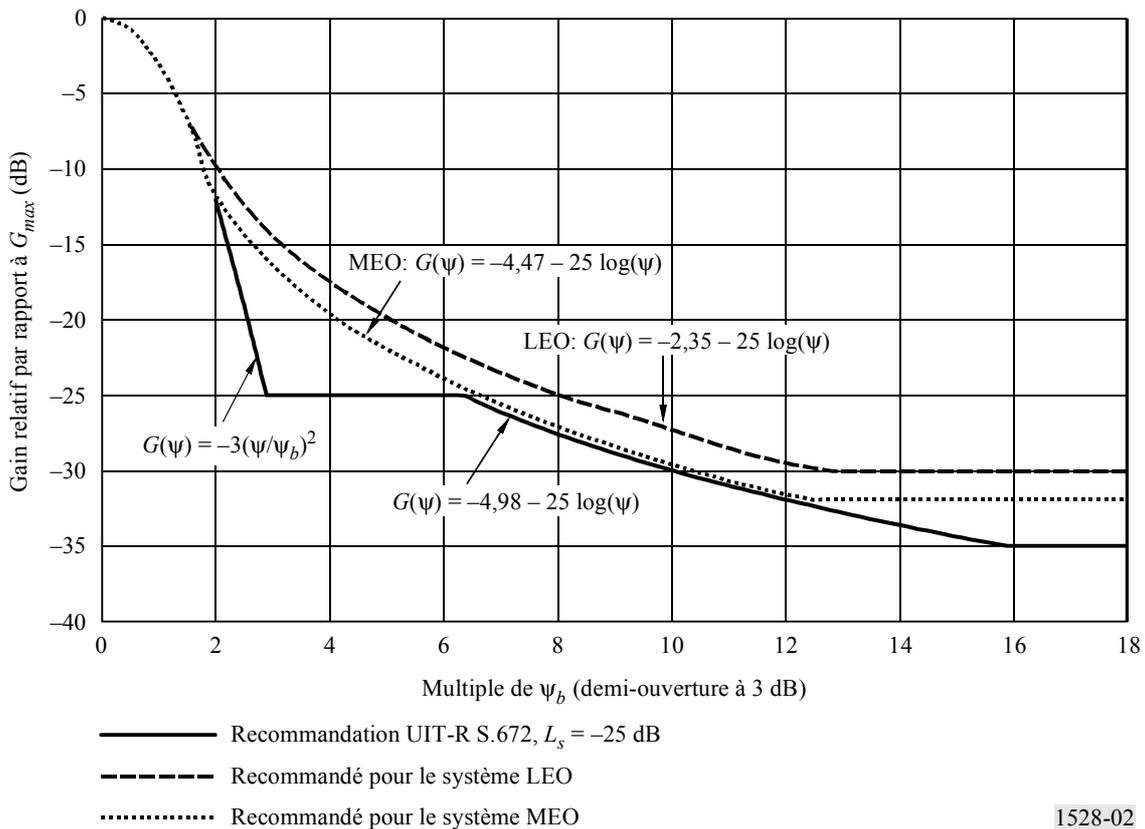
λ : longueur d'onde au bord de la bande inférieure considérée (m)

D : diamètre d'antenne (m).

Le diagramme de référence est illustré dans la Fig. 2.

FIGURE 2

Diagramme de rayonnement de référence pour les systèmes LEO, MEO et OSG



Les diagrammes recommandés pour des antennes de satellite non OSG à faisceaux multiples fonctionnant dans le SFS au-dessous de 30 GHz sont présentés dans l'Annexe 1;

1.4 le diagramme de référence donné par une fonction analytique modélisant les lobes latéraux du satellite non OSG.

Dans l'étude du partage des fréquences entre systèmes non OSG, prendre un diagramme d'antenne de satellite non OSG aussi réaliste que possible permet une analyse plus exacte du brouillage, tout en évitant de trop le surestimer.

Il est proposé d'utiliser une fonction d'illumination de Taylor, circulaire, grâce à laquelle on a le plus de souplesse pour adapter le diagramme théorique aux conditions réelles, l'effet des lobes latéraux d'un diagramme d'antenne étant en effet pris en considération.

Pour simplifier la fonction, on a considéré les crêtes des lobes latéraux comme symétriques, ce qui est une hypothèse prudente dans l'analyse du brouillage.

$$G(u) = G_{max} - 20 \log \left(\left| \frac{2 J_1(u)}{u} \cdot \prod_{i=1}^3 \frac{\left[1 - \frac{u^2}{\pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot [A^2 + (i - 1/2)^2]} \right]}{\left[1 - \left(\frac{u}{\pi \cdot \mu_i} \right)^2 \right]} \right| \right)$$

où:

$G(u)$: gain dans la direction du point considéré (dB)

G_{max} : gain maximum du diagramme (dB)

μ_1, μ_2, μ_3 : trois racines primaires de la fonction de Bessel J_1 (rad).

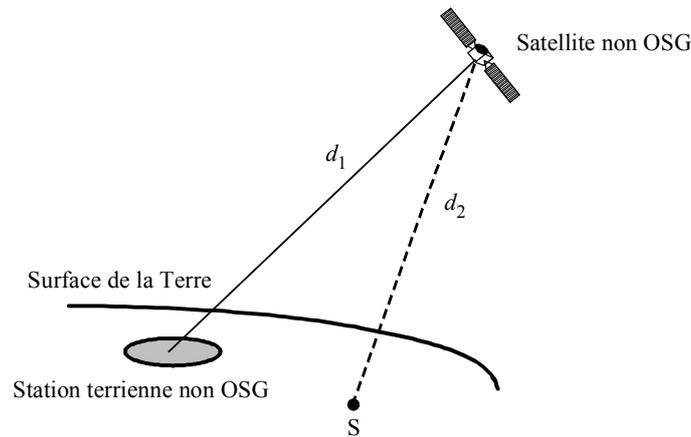
$$A = \frac{1}{\pi} \cdot \arccos h \left(10^{\frac{SLR}{20}} \right)$$

où SLR est le rapport des lobes latéraux du diagramme (dB), c'est-à-dire la différence entre le gain maximum et le gain à la crête du premier lobe latéral.

$$\sigma = \frac{J_0(l)}{\sqrt{A^2 + (l - 1/2)^2}}$$

où l est le nombre de lobes secondaires à prendre en considération dans le diagramme, $J_0()$ étant la fonction de Bessel.

FIGURE 3



1528-03

u est une fonction des caractéristiques de l'antenne, et de l'angle compris entre le point sub-satellite (S) et le faisceau illuminant depuis le satellite non OSG.

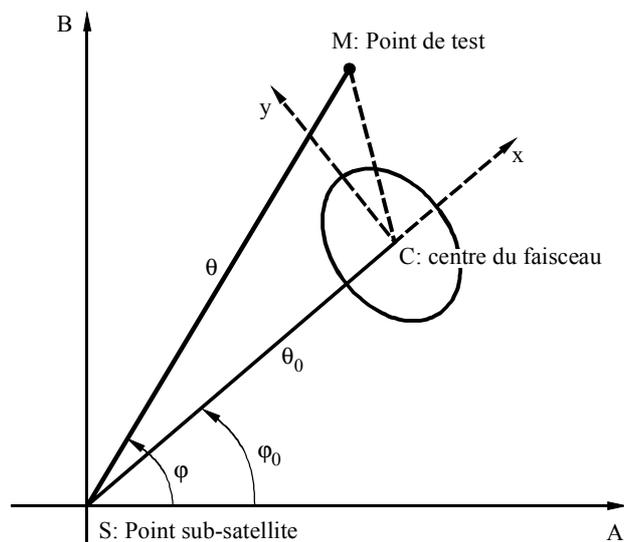
$$u = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{(L_r \sin \theta \cos \varphi)^2 + (L_t \sin \theta \sin \varphi)^2}$$

où:

(θ, φ) : coordonnées du point de test par rapport à l'axe du faisceau illuminé dans le système de référence du satellite (voir la Fig. 4)

L_r et L_t : dimensions radiale et transversale de la zone de rayonnement effective de l'antenne émettrice de satellite (m).

FIGURE 4



1528-04

Les paramètres L_r et L_t doivent être fournis, comme paramètres d'entrée, par le système non OSG.

Un exemple de diagramme obtenu avec cette fonction analytique est présenté dans l'Annexe 2.

Des études complémentaires doivent être réalisées pour définir les limites du gain d'antenne pour les zéros qui apparaissent lorsque l'on utilise une fonction du type Bessel.

ANNEXE 1

Exemples concernant le § 1.3 du *recommande**Exemple:*

Antennes de satellite LM-MEO (USAMEO-1)

Une antenne de satellite MEO non orientable type a un champ de vision de la Terre de $> \pm 22,5^\circ$

Diamètre de la lentille, D/λ : 22,6 longueurs d'onde à 18,8 GHz

Ouverture du faisceau à mi-puissance, $2 \psi_b$: $3,2^\circ$ à 18,8 GHz, angle de 21° hors axe balayé

Gain à 21° hors axe, G_m : 35 dBi

Diagramme de rayonnement de référence pour systèmes MEO

$\psi_b = 1,6^\circ$		$G_m = 35$
$L_s = -12$		$Y = 2 \psi_b = 3,2^\circ$
$L_F = 3$		$Z = 20,0^\circ$
$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2$	dBi	pour $\psi_b < \psi \leq Y$
$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$		$1,6^\circ < \psi \leq 3,2^\circ$
$G(\psi) = G_m + L_s - 25 \log(\psi/Y)$	dBi	pour $Y < \psi \leq Z$
$= 23 - 25 \log(\psi/3,2)$		$3,2^\circ < \psi \leq 20,0^\circ$
$= 35,6 - 25 \log(\psi)$		
$G(\psi) = 3$	dBi	pour $20,0^\circ < \psi \leq 180^\circ$

Diagramme de rayonnement de référence pour systèmes LEO

$\psi_b = 1,6^\circ$		$G_m = 35$
$L_s = -6,75$		$Y = 1,5 \psi_b = 2,4^\circ$
$L_F = 5$		$Z = 20,4^\circ$
$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2$	dBi	pour $\psi_b < \psi \leq Y$
$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$		
$G(\psi) = G_m + L_s - 25 \log(\psi/Y)$	dBi	pour $Y < \psi \leq Z$
$= 28,25 - 25 \log(\psi/2,4)$		$2,4^\circ < \psi \leq 20,4^\circ$
$= 37,76 - 25 \log(\psi)$		
$G(\psi) = 5$	dBi	pour $20,4^\circ < \psi \leq 180^\circ$

En appliquant la Recommandation UIT-R S.672

$$\psi_b = 1,6^\circ$$

$$L_S = -25$$

$$L_F = 0$$

$$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 \quad \text{dBi}$$

$$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$$

$$G(\psi) = G_m + L_S \quad \text{dBi}$$

$$= 10$$

$$G(\psi) = G_m + L_S + 20 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi}$$

$$= 35,1 - 25 \log \psi$$

$$G(\psi) = 0 \quad \text{dBi}$$

$$G_m = 35$$

$$Y = 2,887 \psi_b = 4,62^\circ$$

$$Z = 25,4^\circ$$

pour $\psi_b < \psi \leq Y$

$$1,6^\circ < \psi \leq 4,62^\circ$$

pour $Y < \psi \leq 6,32 \psi_b$

$$4,62^\circ < \psi \leq 10,1^\circ$$

pour $6,32 \psi_b < \psi \leq Z$

$$10,1^\circ < \psi \leq 25,4^\circ$$

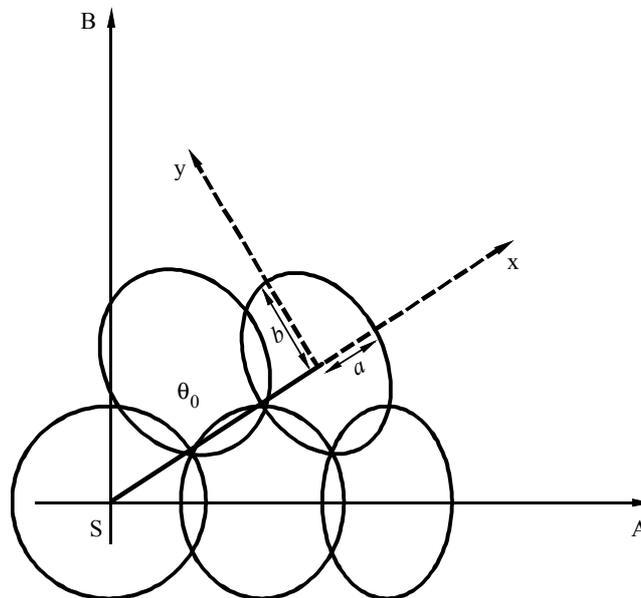
pour $25,4^\circ < \psi \leq 180^\circ$

ANNEXE 2

Exemples concernant le § 1.4 du *recommande*

Le diagramme d'antenne présenté concerne un système à satellite non OSG à une altitude de 1 469 km, illuminant une cellule sur Terre d'un rayon de 350 km (voir la Fig. 5).

FIGURE 5



1528-05

L'étude est réalisée à la fréquence de 12 GHz.

Les trois racines primaires de la fonction de Bessel J_1 sont:

$$\mu_1 = 1,22$$

$$\mu_2 = 2,233$$

$$\mu_3 = 3,238$$

Dans chaque cas, le rapport des lobes latéraux considéré est de 20 dB et le nombre de lobes secondaires est de quatre. Ces deux paramètres donnent $A = 0,95277$ et $\sigma = 1,1692$.

L_r et L_t sont les distances au sol et dépendent de la décroissance du gain du faisceau, c'est-à-dire de la différence entre le gain maximum du faisceau et le gain au bord du faisceau illuminant; les calculs ont été effectués avec une décroissance de 7 dB, 5 dB et 3 dB.

Les paramètres d'entrée L_r et L_t à utiliser sont donnés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2*

Décroissance	7	5	3
$\frac{L_r}{\lambda}$	$\frac{0,74}{\sin a}$	$\frac{0,64}{\sin a}$	$\frac{0,51}{\sin a}$
$\frac{L_t}{\lambda}$	$\frac{0,74}{\sin b}$	$\frac{0,64}{\sin b}$	$\frac{0,51}{\sin b}$

* Les coefficients dépendent du rapport des lobes latéraux choisi dans ce cas particulier, ainsi que de la décroissance du gain du faisceau à la périphérie de la couverture. Les paramètres L_r et L_t obtenus sont en mètres.

a : demi-distance selon l'axe radial du faisceau illuminé (degrés) (sous-tendu au niveau du satellite);

b : demi-distance selon l'axe transversal du faisceau illuminé (degrés) (sous-tendu au niveau du satellite).

Pour un angle de pointage θ_0 de 0° par rapport au point sub-satellites (voir la Fig. 5) les résultats sont illustrés dans le graphique de la Fig. 6.

FIGURE 6

Diagramme de rayonnement transversal de référence

