



Origine: Documents 4A/78 (Annexe 22) et 4A/TEMP/40(Rév.2)

Groupe de travail 4A

REVISION DE LA RECOMMANDATION UIT-R S.731

Diagramme de rayonnement contrapolaire de référence de station terrienne, à utiliser pour la coordination des fréquences et pour l'évaluation des brouillages dans la gamme des fréquences comprises entre 2 et environ 30 GHz

(1992)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, pour effectuer les études de coordination et pour évaluer les brouillages mutuels entre les systèmes de radiocommunication par satellite et entre les stations terriennes de ces systèmes et les stations d'autres services qui partagent la même bande de fréquences, il peut être nécessaire d'utiliser un diagramme de rayonnement contrapolaire pour l'antenne de la station terrienne;
- b) que, pour déterminer la distance de coordination et évaluer les brouillages entre stations terriennes et stations des services de Terre, il peut y avoir intérêt à utiliser un diagramme de rayonnement contrapolaire établi sur la base du niveau dépassé par un faible pourcentage des crêtes des lobes latéraux;
- c) qu'un diagramme de rayonnement copolaire de référence de station terrienne, à utiliser pour la coordination des fréquences et l'évaluation des brouillages, est donné dans la Recommandation UIT-R S.465;
- d) que l'on a mesuré des caractéristiques de gain contrapolaire hors axe des stations terriennes et élaboré des diagrammes de rayonnement qui sont similaires du point de vue quantitatif;
- e) que l'on peut utiliser un diagramme de référence contrapolaire hors axe qui englobe ceux qui figurent dans l'Annexe 1;
- f) que des antennes à diagrammes de rayonnement optimal assureront le maximum d'efficacité dans l'utilisation du spectre radioélectrique et de l'orbite des satellites géostationnaires,

reconnaissant

- 1 que d'autres données de mesure concernant la caractéristique contrapolaire sont souhaitables;
- 2 que la caractéristique réelle de gain hors axe des antennes de station terrienne contient le rayonnement contrapolaire provenant de l'antenne source;
- 3 que les diagrammes de rayonnement contrapolaires sont mesurés dans le faisceau principal de l'antenne source,

recommande

- 1 que, en l'absence de renseignements précis sur le diagramme de rayonnement contrapolaire de l'antenne d'une station terrienne, il convient d'utiliser un diagramme de rayonnement de référence unique:
 - 1.1 pour effectuer les études de coordination des fréquences et évaluer les brouillages entre stations terriennes du service fixe par satellite et stations d'autres services qui partagent la même bande de fréquences;
 - 1.2 pour effectuer les études de coordination et évaluer les brouillages entre systèmes du service fixe par satellite;
- 2 que le diagramme de rayonnement contrapolaire ci-après pourrait être utilisé, à titre provisoire, pour des angles entre la direction considérée et l'axe du faisceau principal, tout au moins dans la gamme des fréquences comprises entre 2 et 30 GHz:

$G_x(\varphi) = 23 - 20 \log \varphi$	dBi	pour $\varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ$
$G_x(\varphi) = 20,2 - 16,7 \log \varphi$	dBi	pour $7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ$
$G_x(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$	dBi	pour $26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ$
$G_x(\varphi) = -10$	dBi	pour $48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$

φ_r est égal à 1° ou à $100 \lambda/D$, si cette valeur est supérieure;

- 3 que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la présente Recommandation.

NOTE 1 – On admettra que le diagramme de rayonnement de référence contrapolaire possède une symétrie de révolution.

NOTE 2 – Le diagramme contrapolaire de référence doit être employé ~~entre deux réseaux dans les cas qui utilisent seulement~~ font intervenir des polarisations opposées.

NOTE 3 – D'autres diagrammes de rayonnement contrapolaires de station terrienne peuvent être utilisés dans le cadre d'un accord mutuel entre les administrations intéressées.

NOTE 4 – Le diagramme de rayonnement de référence doit être utilisé avec prudence dans le domaine angulaire où le système d'alimentation particulier mis en oeuvre risque de produire une diffraction relativement forte et pour des antennes dont D/λ est inférieur à 50.

NOTE 5 – Le présent diagramme de rayonnement contrapolaire complète le diagramme copolaire de la Recommandation UIT-R S.465.

NOTE 6 – On trouvera, dans l'Annexe 1 à la présente Recommandation, un certain nombre de diagrammes de rayonnement contrapolaires hors axe. Ceux-ci correspondent aux enveloppes des crêtes du gain mesuré de différentes antennes et viennent à l'appui du *recommande 2*.

ANNEXE 1

Modélisation des caractéristiques contrapolaires d'antenne de station terrienne

Cette Annexe présente des informations générales que l'on utilise pour établir les diagrammes contrapolaires ~~dérivés des~~. ~~Des mesures expérimentales effectuées sur un certain nombre d'antennes de diamètres différents ont été faites pour différents diamètres d'antenne à partir de diagrammes théoriques et de diagrammes mesurés (1,2 m, 1,8 m, 2,4 m, 3,5 m à 12,625 GHz et 3,7 m à 12,62510,7 GHz).~~ Pour chaque ~~type~~ diamètre d'antenne étudié, ~~un~~ le diagramme d'enveloppe et ~~un~~ le diagramme mesuré relatifs sont présentés. On élabore ensuite des formules qui décrivent les enveloppes contrapolaires relatives pour des antennes dont $D/\lambda \geq 100$ et $D/\lambda < 100$. On établit une fonction unique qui peut servir à décrire le diagramme contrapolaire hors axe pour toutes les antennes.

Les Fig. 1 et 2 présentent des diagrammes copolaires et contrapolaires calculés pour des antennes uniques à cornet d'alimentation décentré ainsi que les fonctions de l'enveloppe respective. Les effets propres au système d'alimentation dans le cas d'arrangements symétriques sont présentés sur la Fig. 3.

FIGURE 1

Diagramme copolaire et contrapolaire d'une antenne de 1,8 m
à illumination décalée, calculé à 3,95 GHz – plan d'azimut

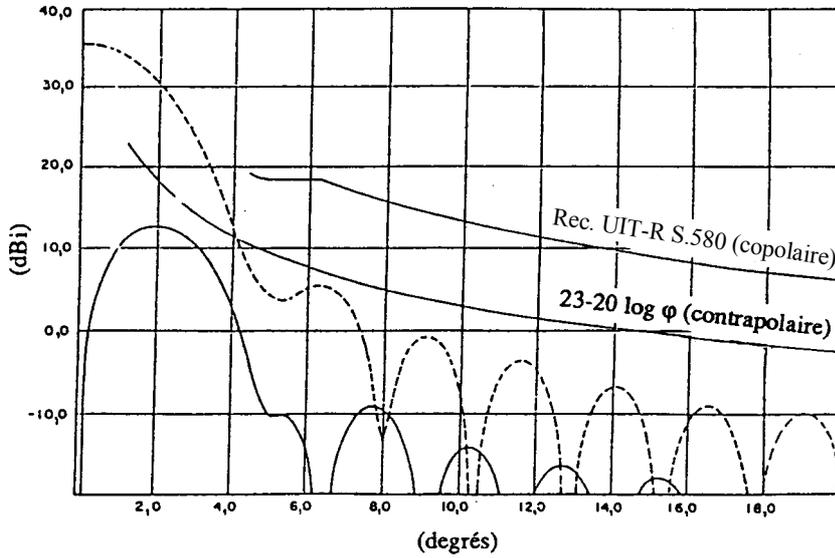
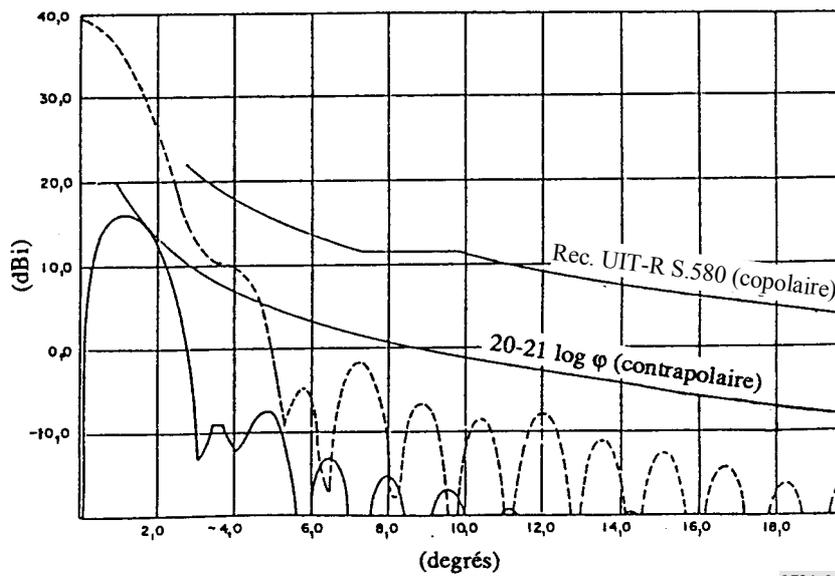


FIGURE 2

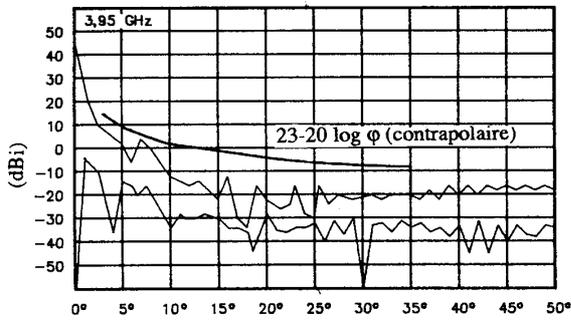
Diagramme copolaire et contrapolaire d'une antenne de 1,8 m
à illumination décalée, calculé à 6,175 GHz – plan d'azimut



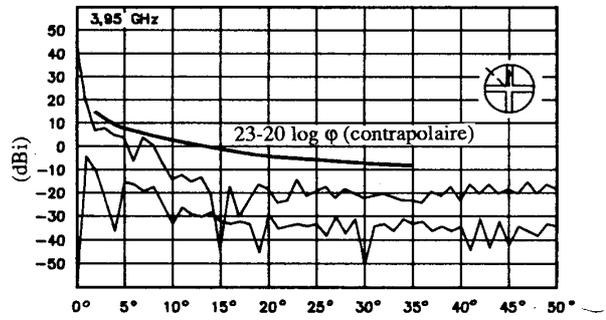
0731-01

FIGURE 3

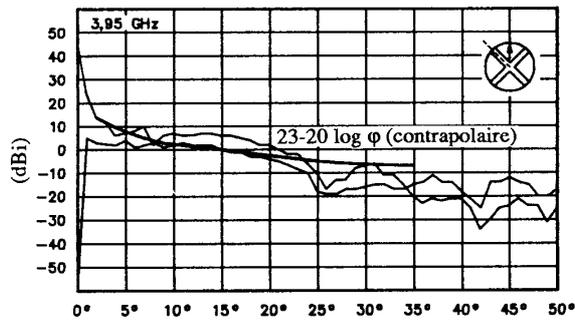
Analyse théorique des effets d'un support sur une antenne de 6 m
à polarisation linéaire avec réflecteur double à symétrie
à 3,95 GHz (a-c) et 6,175 GHz (d-e))



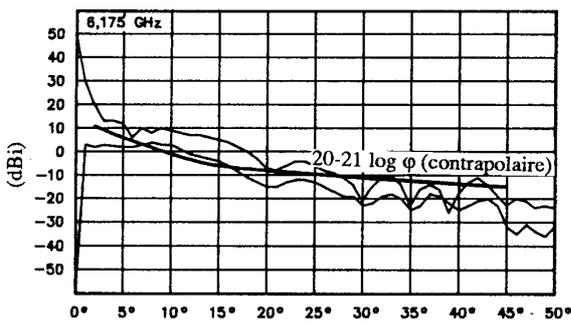
a) Schéma des plans copolaires et contrapolaires à 45°, sans support



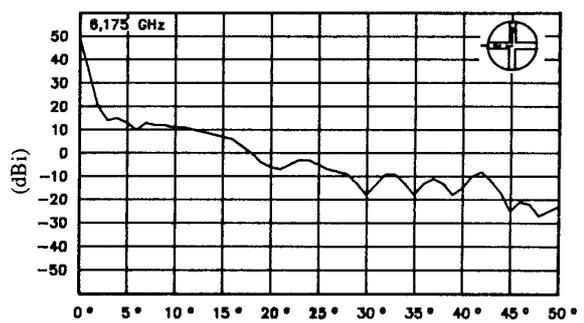
b) Même chose que pour a) avec supports dans les plans verticaux et horizontaux



c) Même chose que a) avec supports dans les plans à 45° et 135°



d) Même chose que c) à l'endroit de la bande d'émission



e) Schéma des plans horizontaux copolaires et contrapolaires, avec supports dans les plans verticaux et horizontaux – bande d'émission

D02-se

Afin d'estimer le facteur de discrimination de la polarisation dans le cas le plus défavorable (facteur d'isolation de la polarisation), ~~des les~~ enveloppes copolaires $G_{//}(\varphi)$ et contrapolaires $G_{+}(\varphi)$ ~~sont~~ obtenues pour les antennes données ci-dessus relatives ont été calculées.

- a) ~~Pour la copolarisation, dans la zone du lobe principal pour $\varphi < \varphi_1$ ($\varphi_1 = 1^\circ$ pour les grandes stations, $\varphi_1 = 100 \lambda/D$ degrés pour les petites antennes) l'enveloppe est extrapolée par un lobe quadratique allant de $G_{//}(\varphi_1)$ pour $\varphi = \varphi_1$ jusqu'à 0 dB pour $\varphi = 0^\circ$.~~
- b) ~~Pour la polarisation croisée, il n'y a pas d'autre contrainte que le diagramme nominal de copolarisation défini par l'UIT-R. Le niveau de polarisation croisée est tel que $G_{+}(\varphi) < G_{//}(\varphi'_1)$ (avec $\varphi'_1 = 2 \varphi_1$) pour $0^\circ < \varphi < \varphi_1$. Les deux enveloppes copolaires et contrapolaires se rapprochent ensuite progressivement jusqu'à être confondues au voisinage du niveau isotrope ($\varphi \geq \varphi_{ISO}$).~~

~~Finalement, les diagrammes contrapolaires pourraient avoir les enveloppes suivantes:~~

- a) On suppose que l'enveloppe copolaire relative utilisée dans la présente Annexe est la suivante:

Pour les systèmes pour lesquels $D/\lambda \leq 100$,

$$\begin{aligned} G_{//}(\varphi) &= 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0 \quad \text{dBi} \quad \text{pour } (100 \lambda/D)^\circ \leq \varphi \leq 48^\circ \\ &= 10 - 10 \log(D/\lambda) - G_0 \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

Pour les systèmes pour lesquels $D/\lambda > 100$,

$$\begin{aligned} G_{//}(\varphi) &= 32 - 25 \log \varphi - G_0 \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 1^\circ \leq \varphi \leq 48^\circ \\ &= -10 - G_0 \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

- b) Le niveau contrapolaire est tel que $G_{+}(\varphi) = G_{//}(\varphi'_1)$ (avec $\varphi'_1 = 2,2\varphi_1$ pour de petites antennes, et $\varphi'_1 = 1,8\varphi_1$ pour de grandes antennes) pour $0^\circ < \varphi < \varphi_1$.

En définitive, les enveloppes contrapolaires relatives pourraient être les suivantes:

1 Petites antennes ($D < 100 \lambda$)

G_0 : gain du lobe principal copolaire maximal de l'antenne

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0$$

$$\varphi_1 = 100 \lambda/D \text{ (degrés)}$$

$$\varphi'_1 = 2,2 \varphi_1$$

$$\varphi_2 = 25,1^\circ$$

$$\varphi_{ISO} = 10^{(52 - 10 \log(D/\lambda)/25)} \text{ (degrés)}$$

$$\varphi_{ISO} = 10^{\frac{52 - 10 \log(D/\lambda)}{25}} \text{ (degrés)}$$

pour $0 < \varphi < \varphi_1$,

$$G_{+}(\varphi) = G(\varphi'_1) \quad (1)$$

pour $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$,

$$G_+(\varphi) = G(\varphi) - [G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)] \cdot \frac{(\varphi_{ISO} - \varphi)(\varphi_{ISO} - \varphi_1)}{\varphi_{ISO} - \varphi_1} \quad (2)$$

$$G_+(\varphi) = G(\varphi) - (G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)) \frac{\varphi_{ISO} - \varphi}{\varphi_{ISO} - \varphi_1} \quad (2)$$

$$\text{(si } \varphi > \varphi_{ISO}, G_+(\varphi) = G_#(\varphi))$$

si $\varphi > \varphi_{ISO}$,

$$G_+(\varphi) = 52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \varphi - G_0 \quad (3)$$

pour $\varphi_2 < \varphi < 180^\circ$,

$$G_+(\varphi) = 10 - 10 \log(D/\lambda) - G_0 \quad (34)$$

Sur les Fig. 4 et 5, les enveloppes présentées sont obtenues pour des stations de 1,20 m et 1,80 m à 12,625 GHz. Dans chaque cas, on donne un exemple des diagrammes copolaire et contrapolaire mesurés, mais les enveloppes présentées sont des valeurs moyennes à partir de mesures faites sur plusieurs antennes de même type.

Les diagrammes mesurés pour ces types d'antennes sont présentés sur les Fig. 4a, 5a et 5b.

Les diagrammes illustrés dans les Fig. 4 et 6 sont calculés pour des stations avec des diamètres d'antenne de 1,20 m et 1,80 m fonctionnant sur une fréquence centrale de 12,625 GHz. Les diagrammes mesurés pour ces types d'antennes sont reproduits dans les Fig. 5, 7 et 8. Dans chaque cas, un exemple du diagramme copolaire et du diagramme contrapolaire mesurés est donné mais les enveloppes présentées pour des valeurs moyennes établies à partir de mesures faites sur plusieurs antennes du même type.

FIGURE 4
Antenne de 1,2 m, $f = 12,625$ GHz, gabarits copolaire et contrapolaire

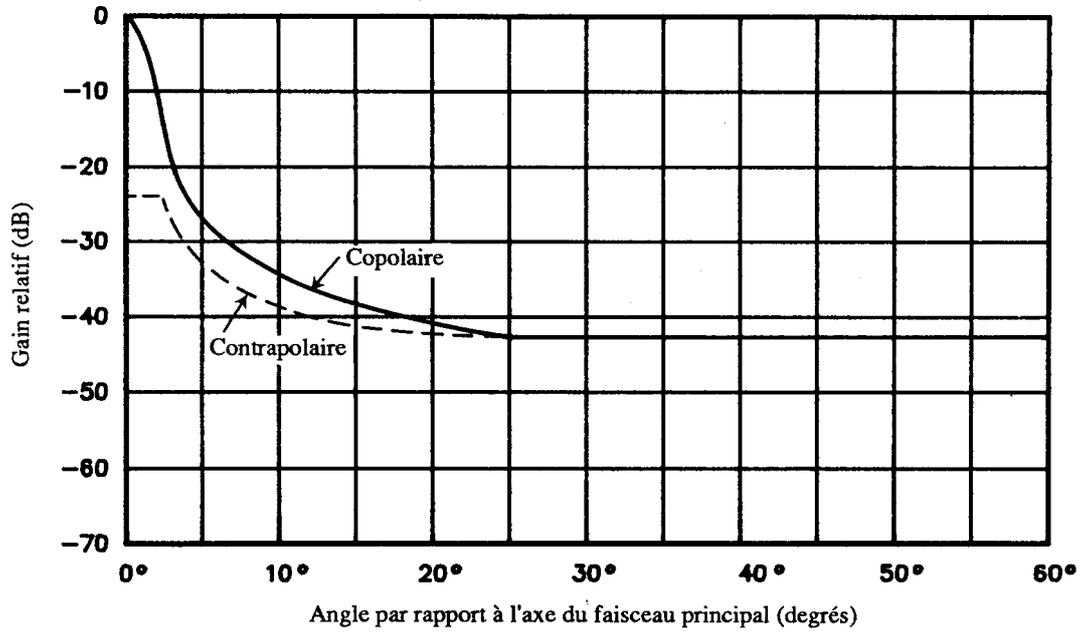
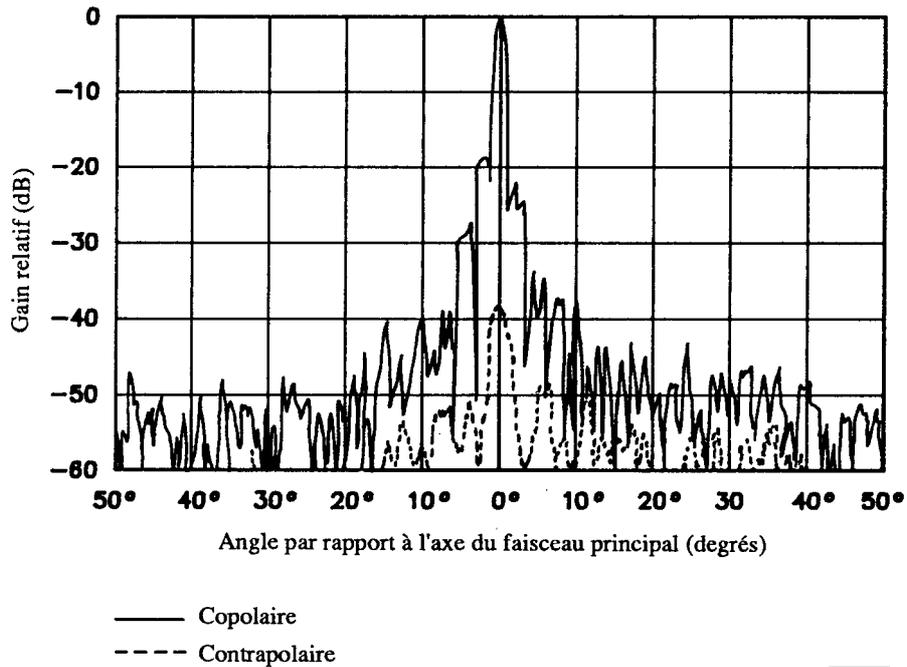


FIGURE 4a
Antenne de 1,2 m, diagrammes copolaire et contrapolaire mesurés



D03-sc

FIGURE 5
Antenne de 1,80 m, $f = 12,625$ GHz, gabarits copolaire et contrapolaire

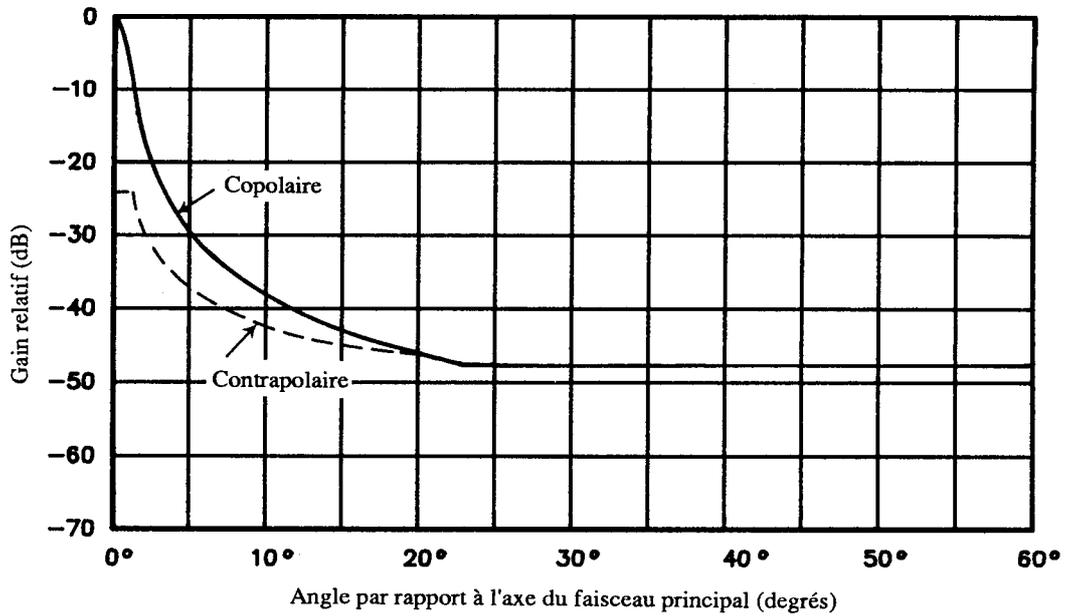


FIGURE 5a
Antenne de 1,80 m, diagramme copolaire mesuré

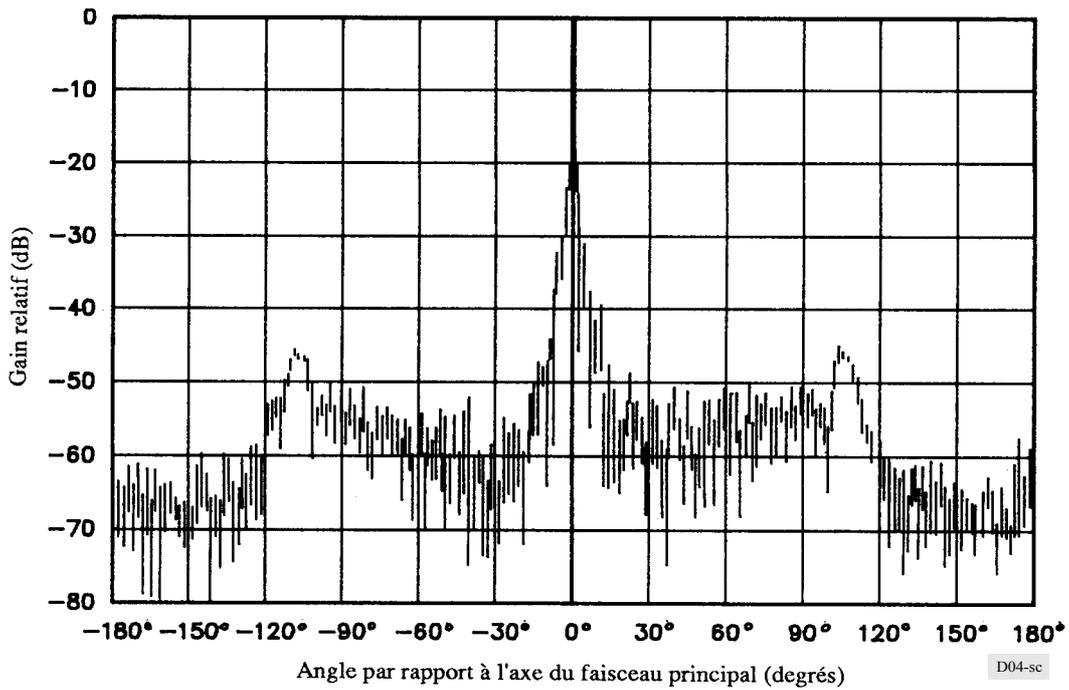


FIGURE 5b
Antenne de 1,80 m, diagramme contrapolaire mesuré

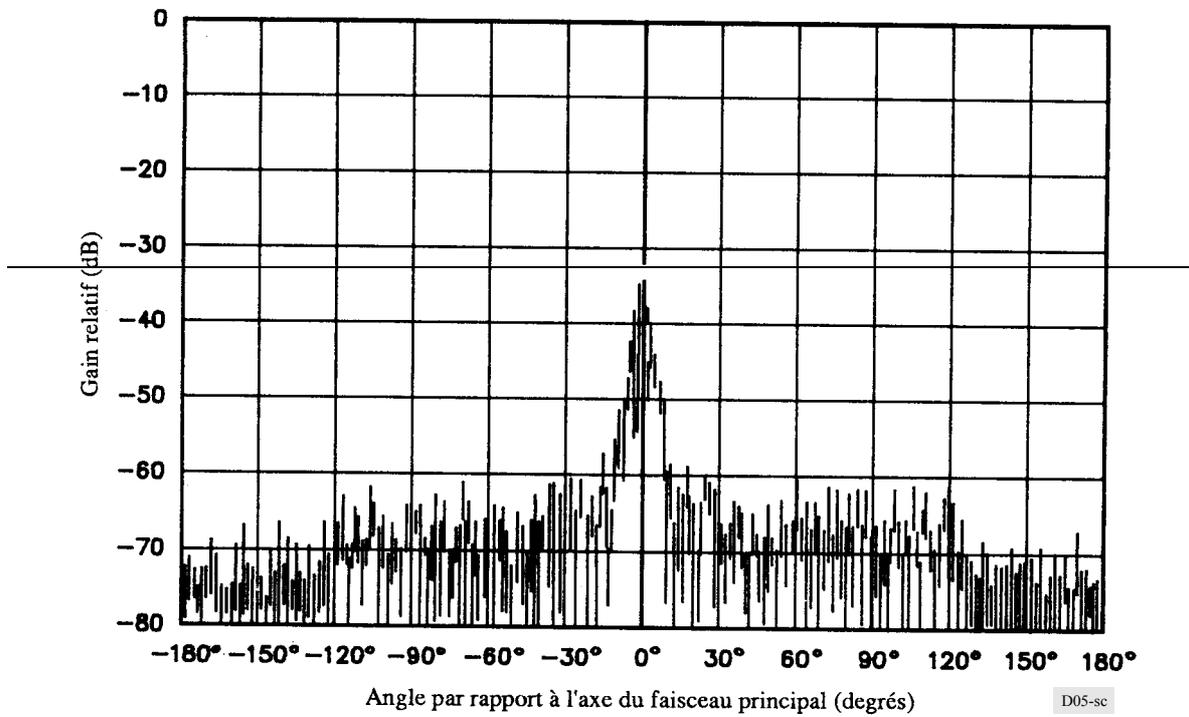


FIGURE 4
Antenne de 1,2 m, $f = 12,625$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire calculés relatifs

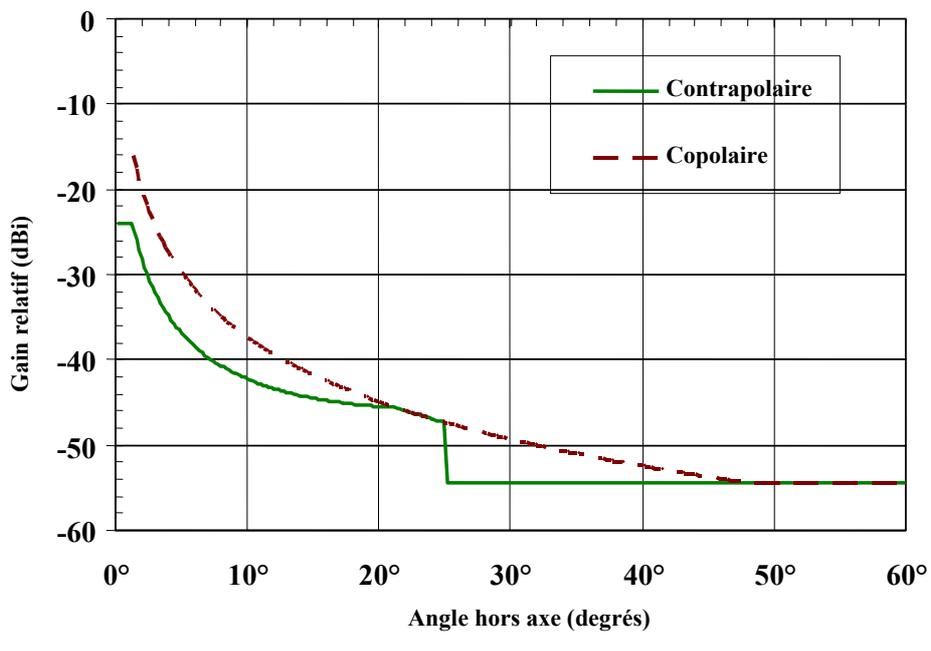


FIGURE 5

Antenne de 1,2 m, $f = 12,625$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire mesurés relatifs

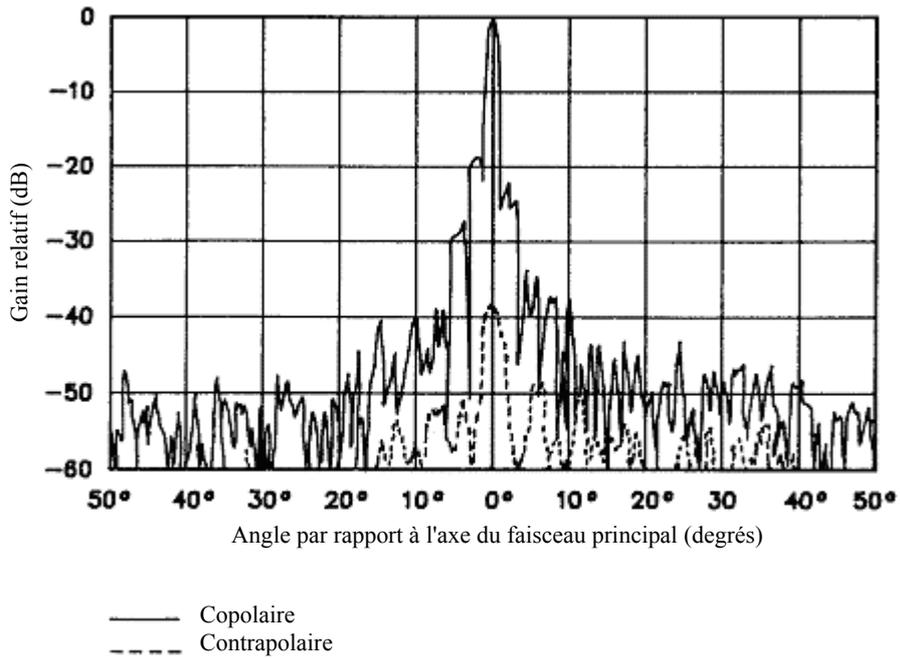


FIGURE 6

Antenne de 1,8 m, $f = 12,625$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire calculés relatifs

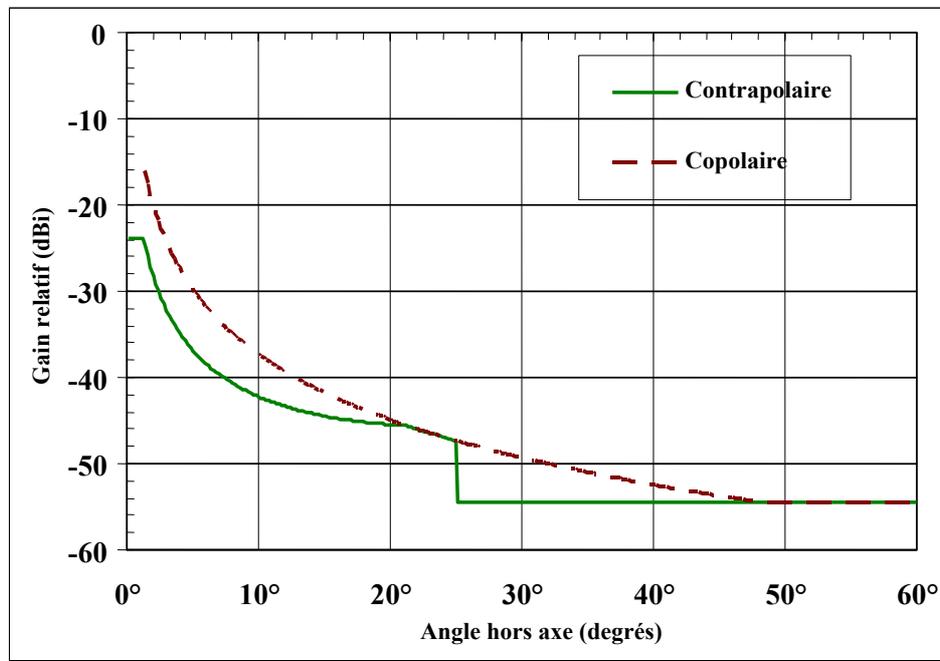


FIGURE 7

Antenne de 1,8 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme copolaire mesuré relatif

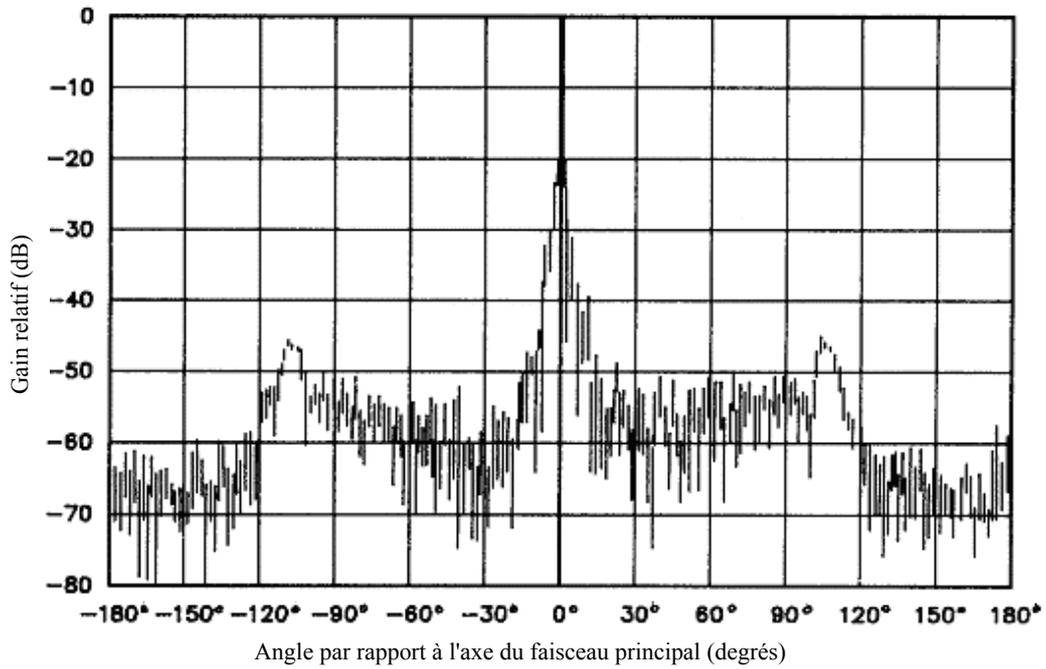
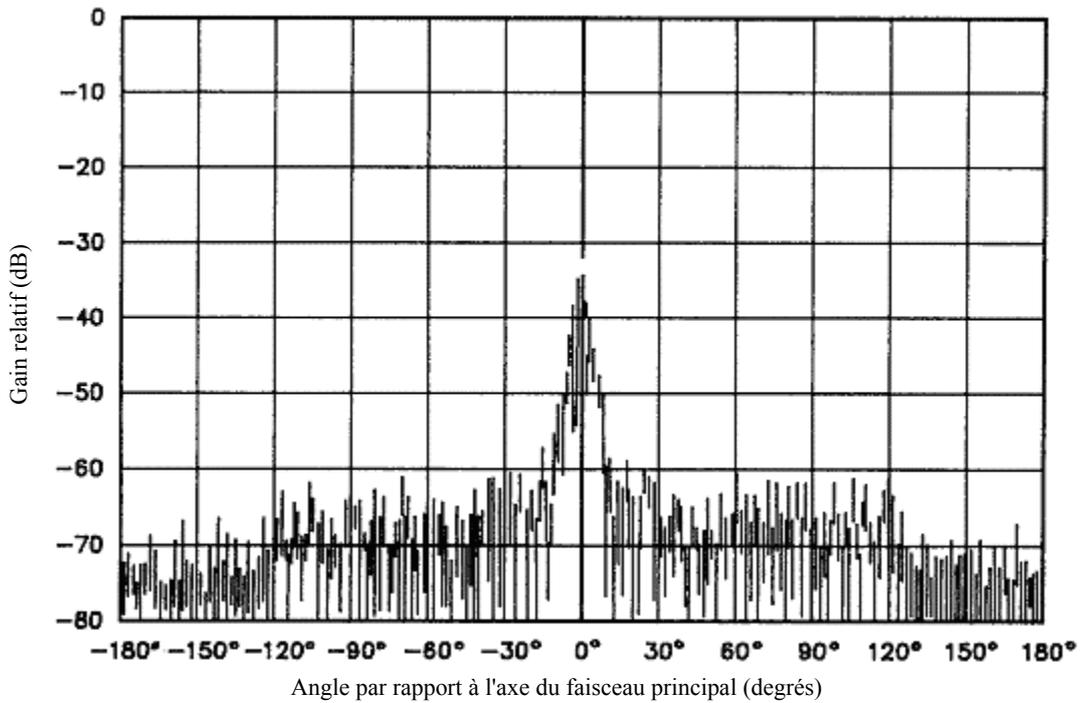


FIGURE 8

Antenne de 1,8 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme contrapolaire mesuré relatif



2 Grandes antennes ($D \geq 100 \lambda$)

G_0 : gain du lobe principal copolaire maximal de l'antenne (dBi)

$$\varphi_1 = 1^\circ$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi - G_0 \text{ (dBi)}$$

$$\varphi'_1 = 1,8 \varphi_1 \text{ (degrés)}$$

$$\varphi_2 = 20^\circ$$

$$\varphi_3 = 26,3^\circ$$

$$\varphi_{43} = 33,1^\circ$$

$$\varphi_{ISO} = 10^{(29/25)} \text{ (degrés)}$$

pour $0 < \varphi < \varphi_1$

$$G_+(\varphi) = G(\varphi'_1) \quad (4)$$

pour $\varphi_1 < \varphi < \varphi_2$

$$G_+(\varphi) = G(\varphi) - [G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)] \cdot (\varphi_{ISO} - \varphi) / (\varphi_{ISO} - \varphi_1) \quad (5)$$

pour $\varphi_2 < \varphi < \varphi_3$

$$G_1(\varphi) = 3,5 - G_0$$

$$G_+(\varphi) = G_1(\varphi) - [G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)] \cdot (\varphi_{ISO} - \varphi) / (\varphi_{ISO} - \varphi_1) \quad (6)$$

$$\text{(si } \varphi > \varphi_{ISO}, G_+(\varphi) = G_{\#}(\varphi))$$

pour $\varphi_3 < \varphi < \varphi_4$

$$G_+(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi - G_0 \quad (7)$$

pour $\varphi_4 < \varphi < 180^\circ$

$$G_+(\varphi) = -10 - G_0 \quad (8)$$

$$\varphi_{ISO} = 10^{\frac{29}{25}} \approx 14,45^\circ$$

pour $0 < \varphi \leq \varphi_1$,

$$G_+(\varphi) = G(\varphi'_1) \quad (5)$$

pour $\varphi_1 < \varphi \leq \varphi_2$,

$$G_+(\varphi) = G(\varphi) - (G(\varphi_1) - G(\varphi'_1)) \frac{\varphi_{ISO} - \varphi}{\varphi_{ISO} - \varphi_1} \quad (6)$$

pour $\varphi_2 < \varphi \leq \varphi_3$,

$$G_+(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi - G_0 \quad (7)$$

pour $\varphi_3 < \varphi \leq 180^\circ$,

$$G_+(\varphi) = -10 - G_0 \quad (8)$$

Sur les Fig. 6, 7 et 8, les enveloppes ~~Les diagrammes~~ représentés dans les figures ci-après sont obtenues calculés pour des stations de diamètres d'antenne et de fréquences suivants: 2,40 m, et 3,50 m à 12,625 GHz et 3,70 m à 12,625/10,70 GHz. Les diagrammes mesurés pour ces types d'antenne sont présentés sur les Fig. 10, 11, 13, 14, 16 et 17. Dans chaque cas, on donne un exemple des mesures copolaires et contrapolaires, mais les enveloppes ont été élaborées à partir des valeurs moyennes des mesures sur plusieurs antennes de même type. ~~Les diagrammes réels pour ces types d'antenne sont présentés sur les Fig. 6a, 7a, 8a, 6b, 7b et 8b.~~

On peut exprimer les fonctions ci-dessus pour $D < 100 \lambda$ et $D \geq 100 \lambda$ en termes de gain absolu. Les fonctions données pour $D < 100 \lambda$ peuvent être normalisées en une fonction copolaire $32 - 25 \log \varphi$ en admettant que la fonction copolaire $52 - 10 \log \varphi$ est égale à 32. L'évaluation de ces fonctions exprimées en gain absolu pour diverses valeurs de D/λ est la suivante:

$$G_x(\varphi) = 22,70 + 0,29 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour } D/\lambda = 25 \quad (9)$$

$$= 22,69 + 0,37 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour } D/\lambda = 50 \quad (10)$$

$$= 22,87 + 0,42 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour } D/\lambda = 75 \quad (11)$$

$$= 22,15 + 0,47 \varphi - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour } D/\lambda = 100 \quad (12)$$

Pour des angles de $31,7^\circ$, $25,2^\circ$, $21,4^\circ$ et $20,8^\circ$ respectivement, ces fonctions correspondant au gain sont égales à un gain d'enveloppe copolaire de $32 - 25 \log \varphi$. Les fonctions supplémentaires qui ont été établies sont:

$$G_x(\varphi) = 20 - 21 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad (13)$$

$$G_x(\varphi) = 23,6 - 20 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad (14)$$

$$G_x(\varphi) = 22 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad (15)$$

La formule (15) est fondée sur l'hypothèse que le gain contrapolaire est de 10 dB supérieur au gain copolaire pour un angle ne dépassant pas 7° .

Ces fonctions sont représentées sur la Fig. 918. D'après cette Figure, la seule fonction qui couvre de façon appropriée toutes les fonctions ci-dessus est la suivante:

$$\begin{aligned} G_\lambda(\varphi) &= 23 - 20 \log \varphi & \text{dBi} & \quad \text{pour } \varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ \\ &= 20,2 - 16,7 \log \varphi & \text{dBi} & \quad \text{pour } 7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ \\ &= 32 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & \quad \text{pour } 26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ \\ &= -10 & \text{dBi} & \quad \text{pour } 48^\circ < \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

φ_r est égal à 1° ou à $100 \lambda/D$, si cette dernière valeur est supérieure.

FIGURE 6
Antenne de 2,40 m, $f = 12,625$ GHz, gabarits copolaire et contrapolaire

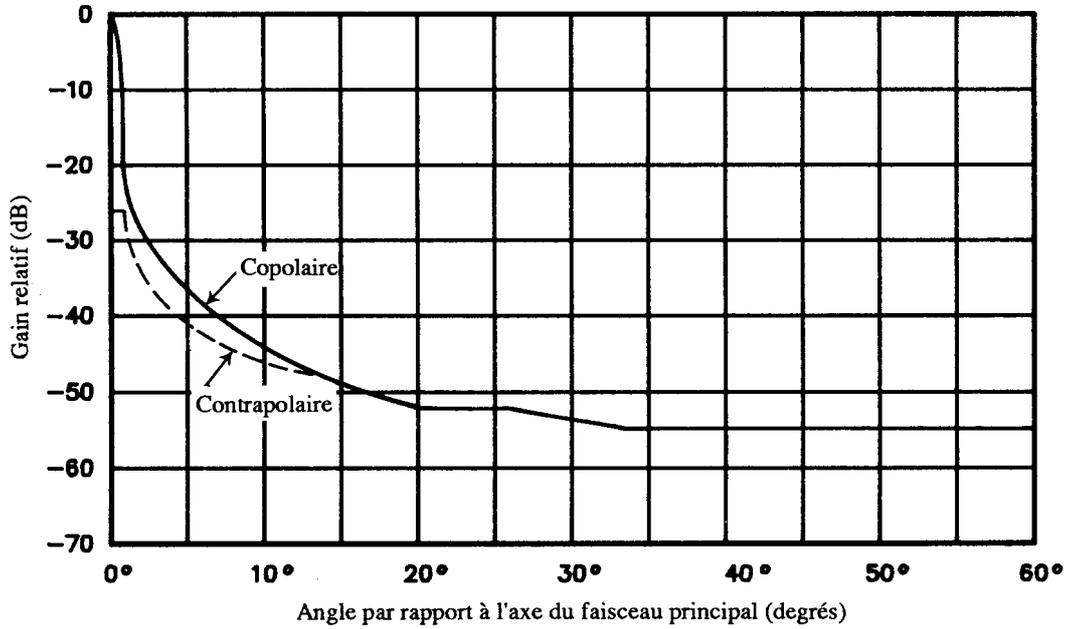


FIGURE 6a
Antenne de 2,40 m, diagramme copolaire mesuré

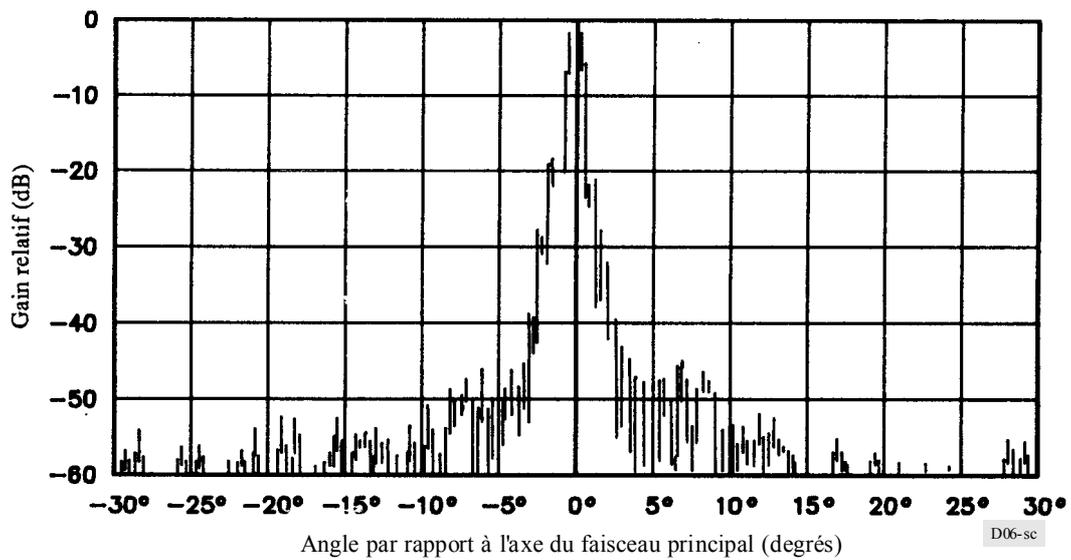


FIGURE 6b
Antenne de 2,40 m, diagramme contrapolaire mesuré

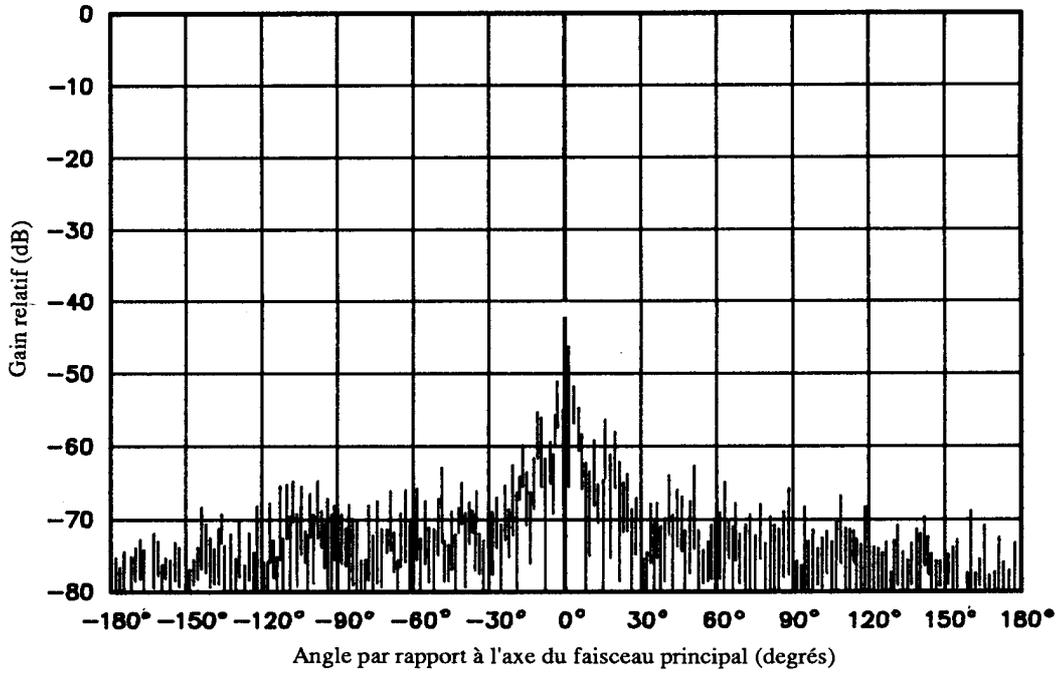


FIGURE 7
Antenne de 3,50 m, $f = 12,625$ GHz, gabarits copolaire et contrapolaire

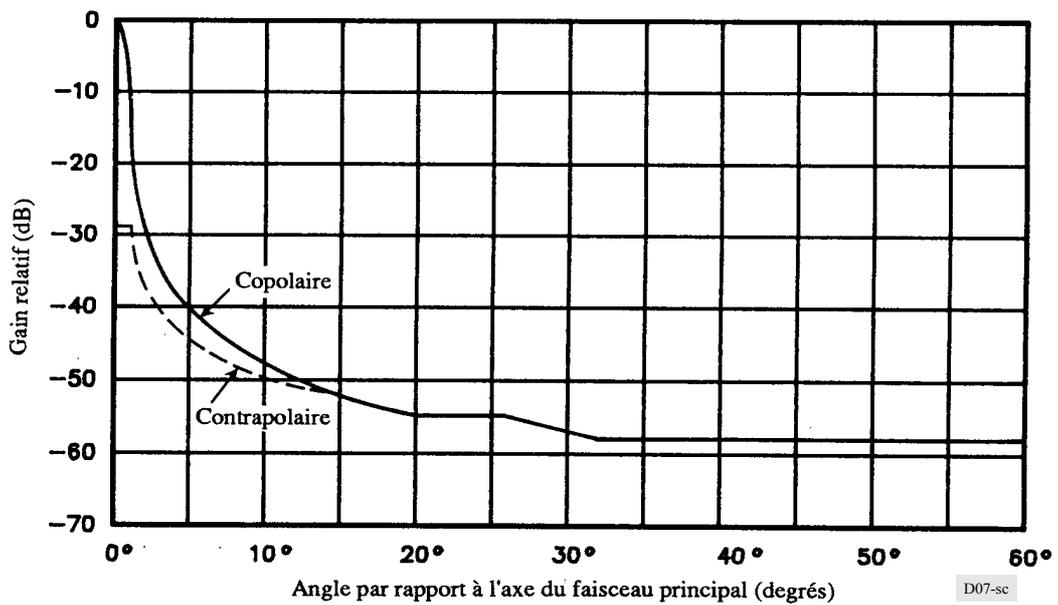


FIGURE 7a

Antenne de 3,50 m, diagramme copolaire mesuré

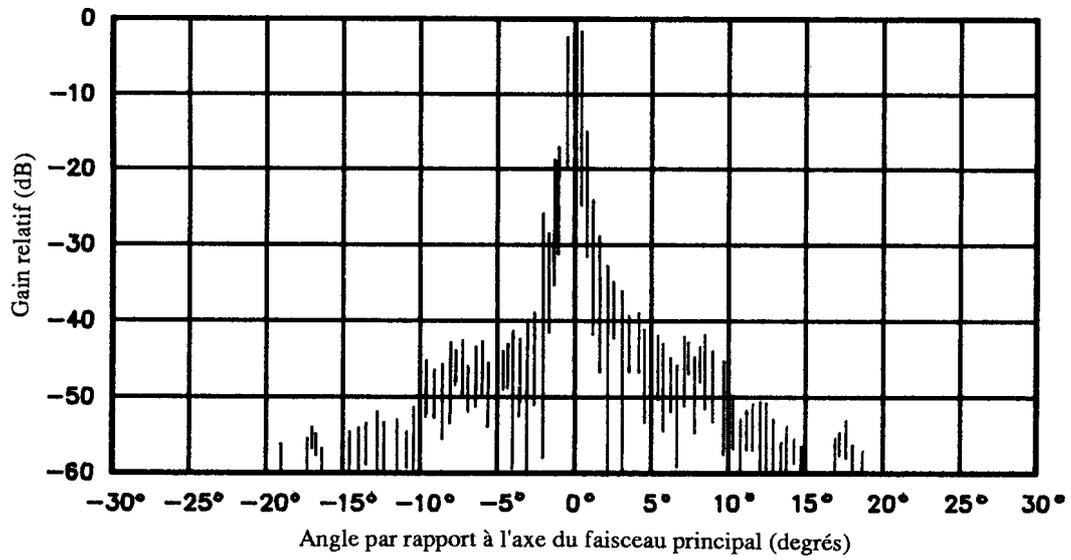
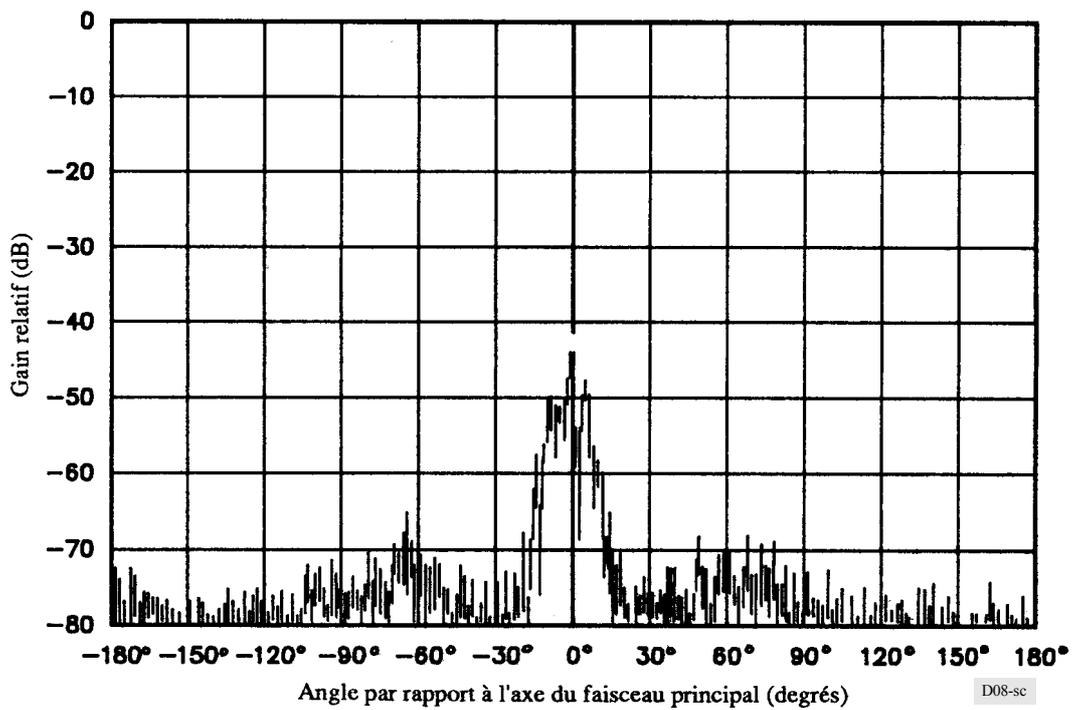


FIGURE 7b

Antenne de 3,50 m, diagramme contrapolaire mesuré



D08-sc

FIGURE 8
Antenne de 3,70 m, $f = 10,7$ GHz, gabarits copolaire et contrapolaire

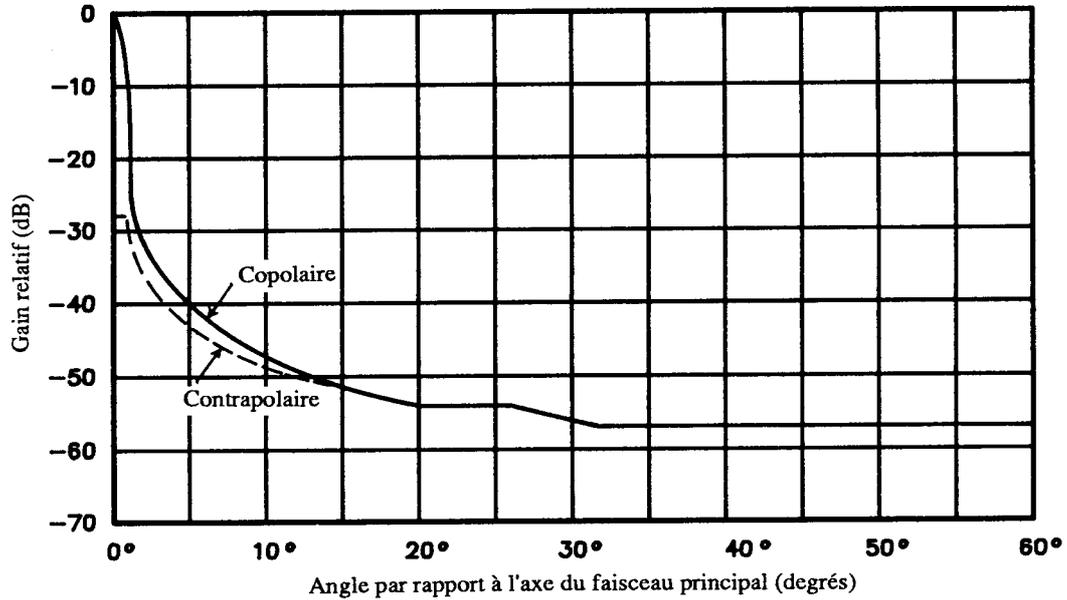


FIGURE 8a
Antenne de 3,70 m, diagramme copolaire mesuré

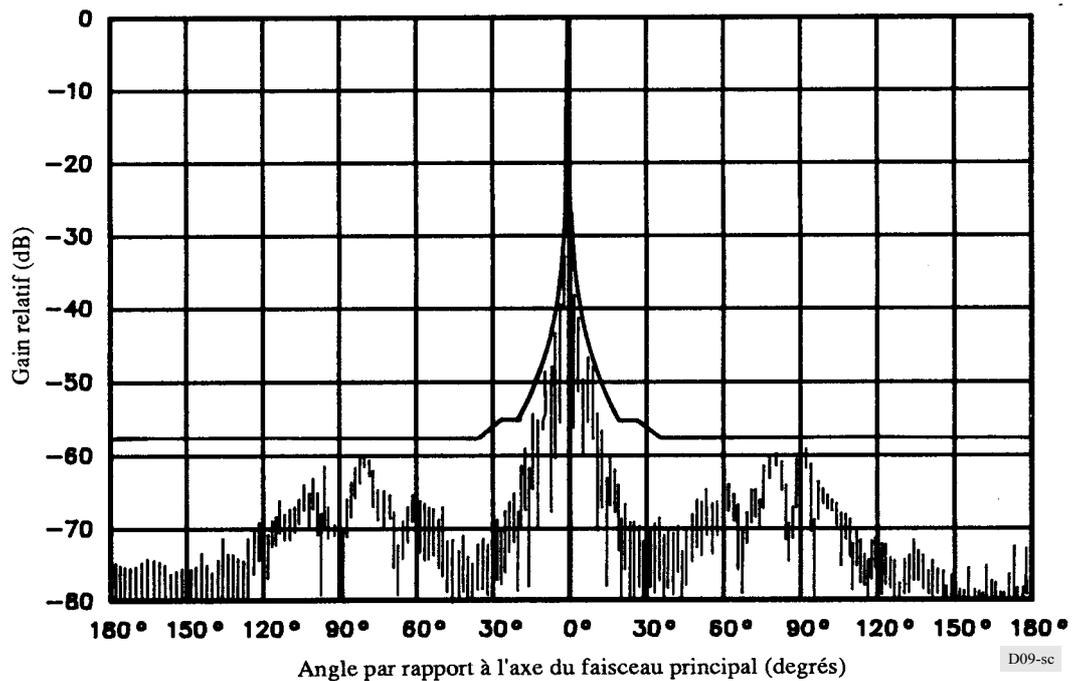
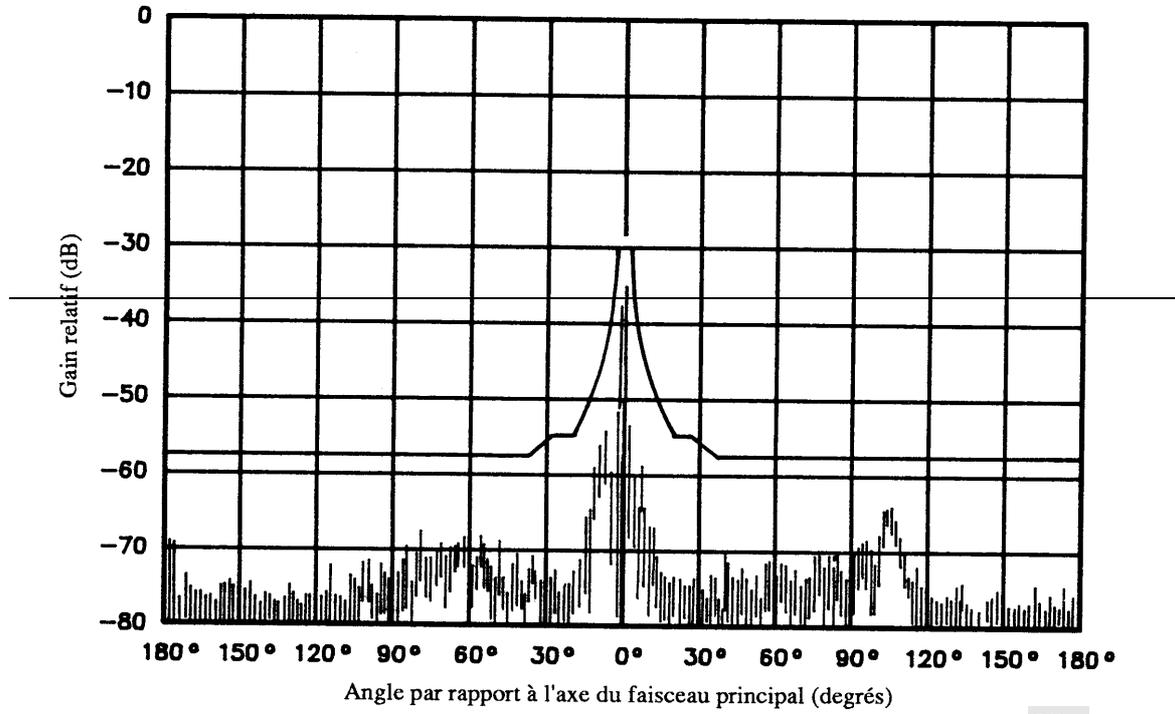
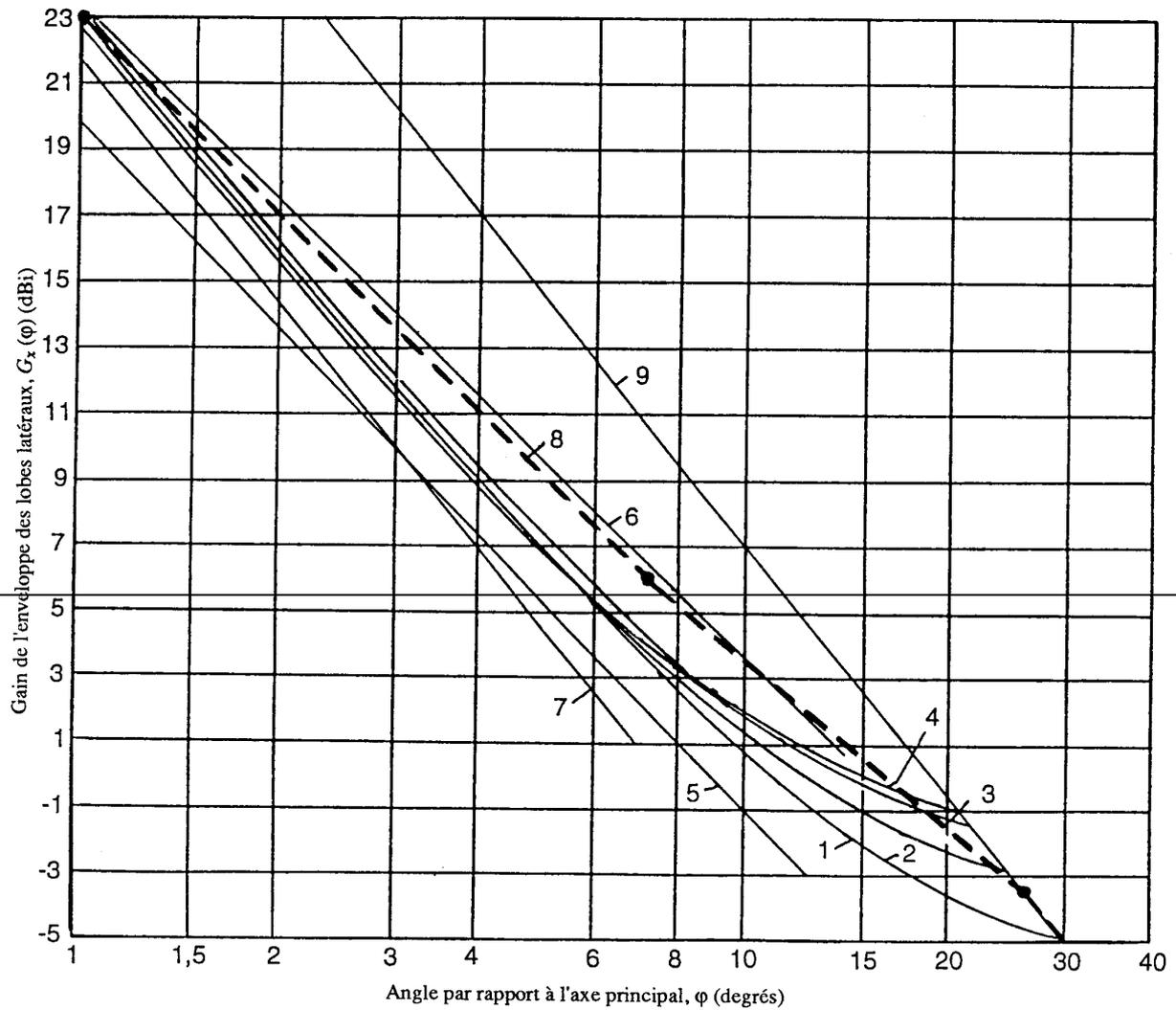


FIGURE 8b
Antenne de 3,70 m, diagramme copolaire mesuré



D10-sc

FIGURE 9
Fonctions du gain de l'enveloppe des lobes latéraux en polarisation croisée



1	$G_x(\varphi) = 22,7 + 0,29 \varphi - 25 \log \varphi$	dBi	pour $D/\lambda = 25$
2	$= 22,69 + 0,37 \varphi - 25 \log \varphi$	dBi	pour $D/\lambda = 50$
3	$= 22,87 + 0,42 \varphi - 25 \log \varphi$	dBi	pour $D/\lambda = 75$
4	$= 22,15 + 0,47 \varphi - 25 \log \varphi$	dBi	pour $D/\lambda = 100$
5	$= 20 - 21 \log \varphi$	dBi	
6	$= 23,6 - 20 \log \varphi$	dBi	
7	$= 22 - 25 \log \varphi$	dBi	
8	$G_x(\varphi) = 23 - 20 \log \varphi$	dBi	pour $\varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ$
	$= 20,2 - 16,7 \log \varphi$	dBi	pour $7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ$
	$= 32 - 25 \log \varphi$	dBi	pour $26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ$
9	$G_x(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$	dBi	

D11-sc

FIGURE 9

Antenne de 2,4 m, $f = 12,625$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire mesurés relatifs

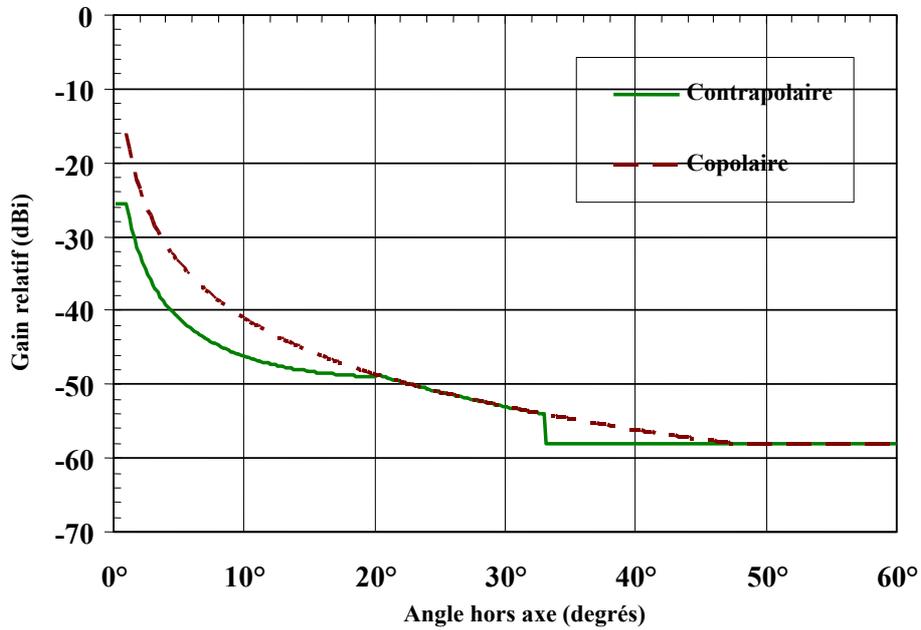


FIGURE 10

Antenne de 2,4 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme copolaire mesuré relatif

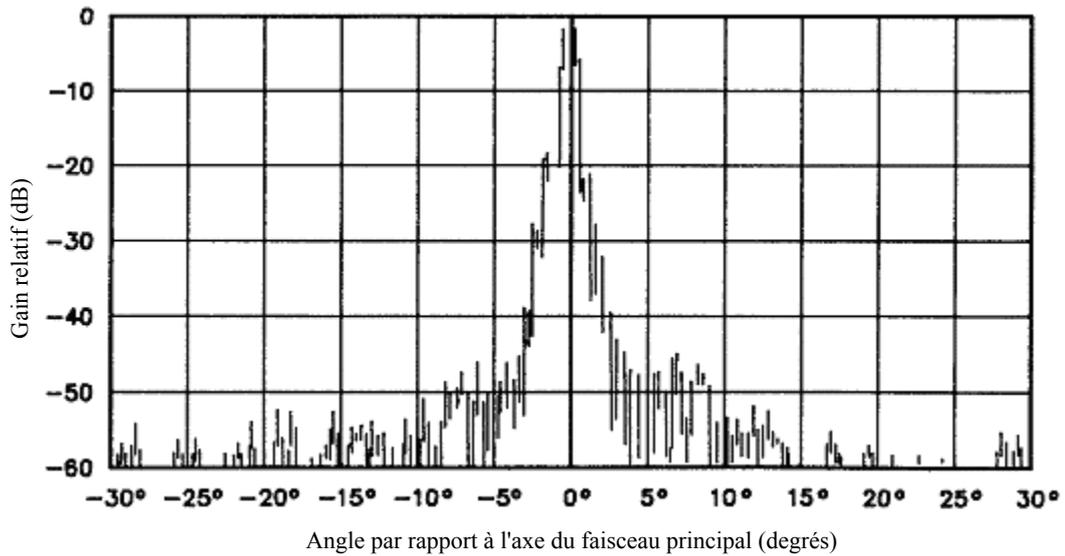


FIGURE 11

Antenne de 2,4 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme contrapolaire mesuré relatif

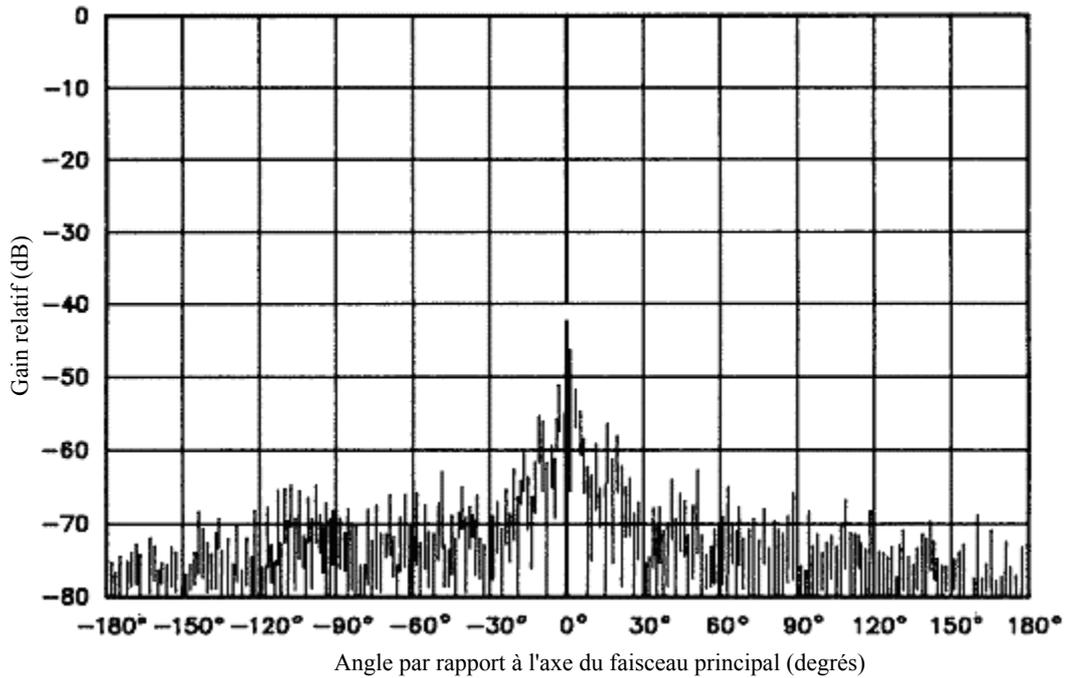


FIGURE 12

Antenne de 3,5 m, $f = 12,625$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire calculés relatifs

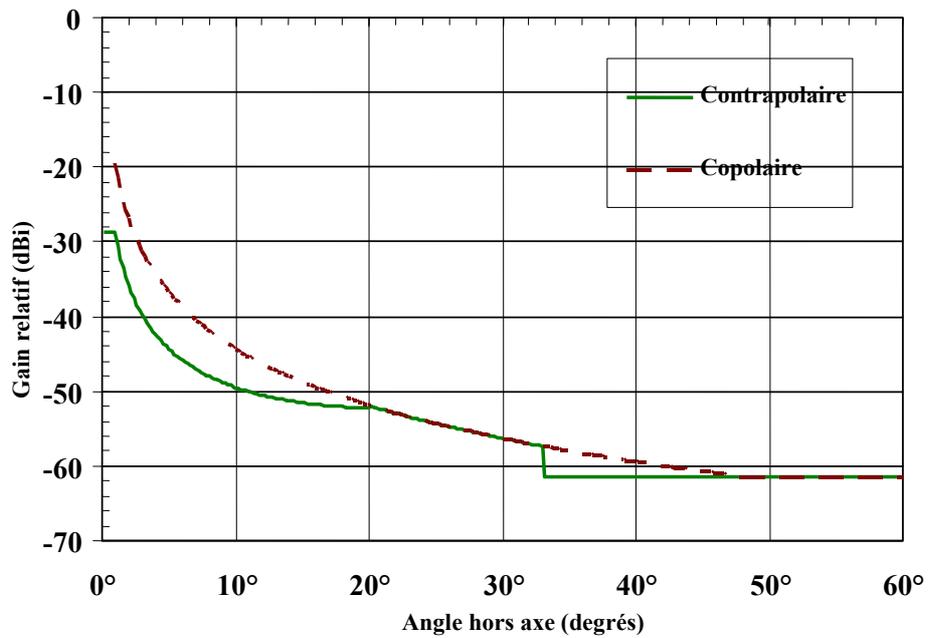


FIGURE 13

Antenne de 3,5 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme copolaire mesuré relatif

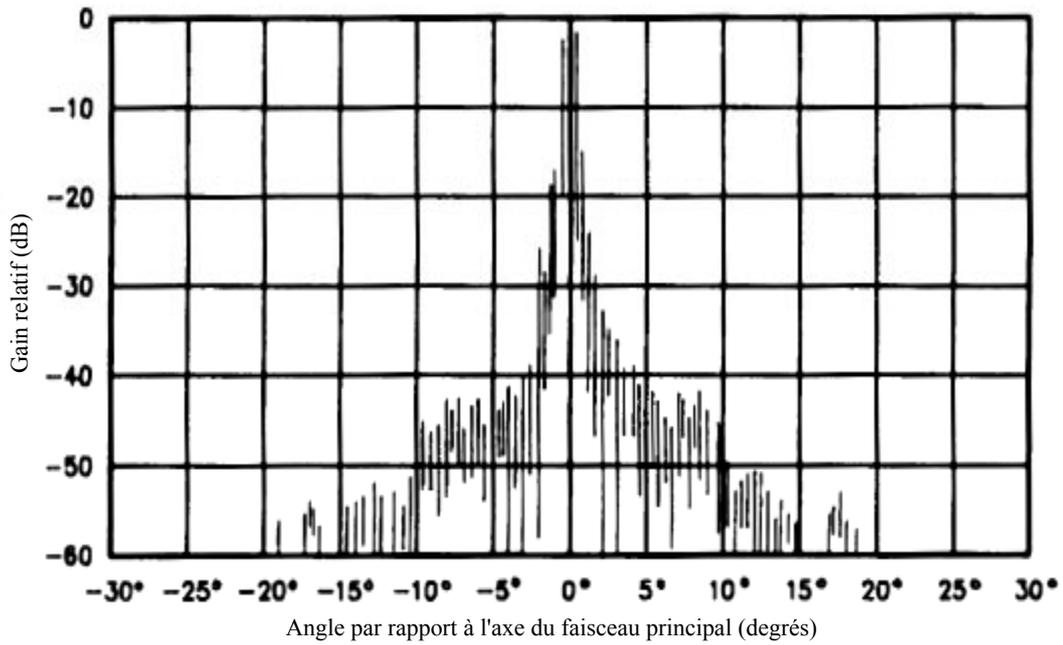


FIGURE 14

Antenne de 3,5 m, $f = 12,625$ GHz, diagramme contrapolaire mesuré relatif

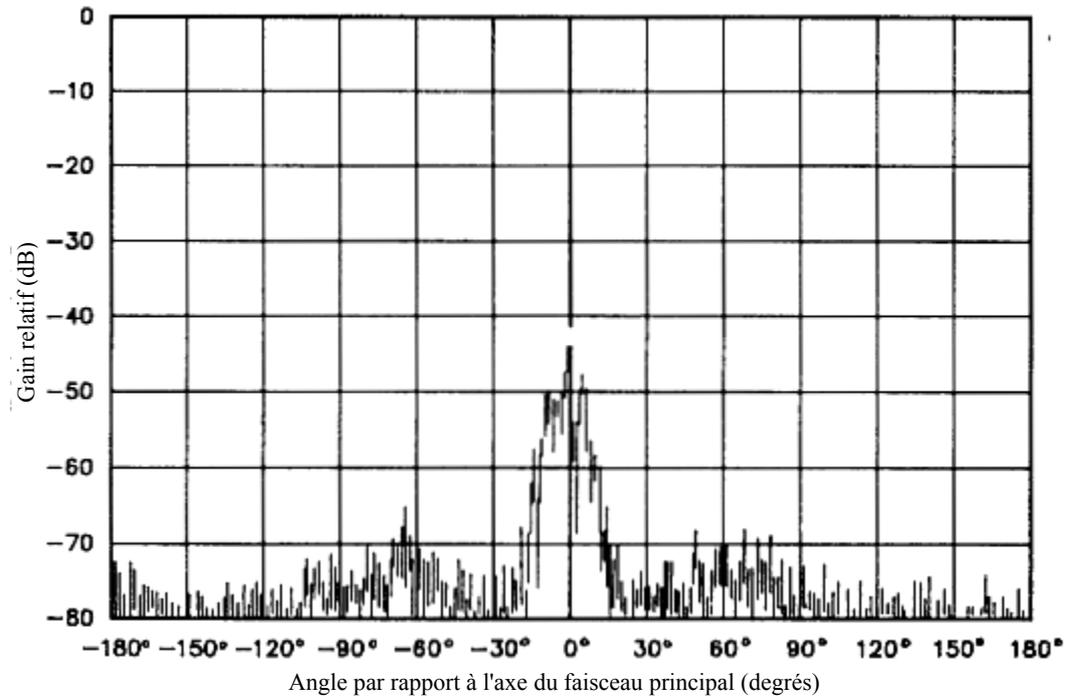


FIGURE 15

Antenne de 3,7 m, $f = 10,7$ GHz, diagrammes copolaire et contrapolaire calculés relatifs

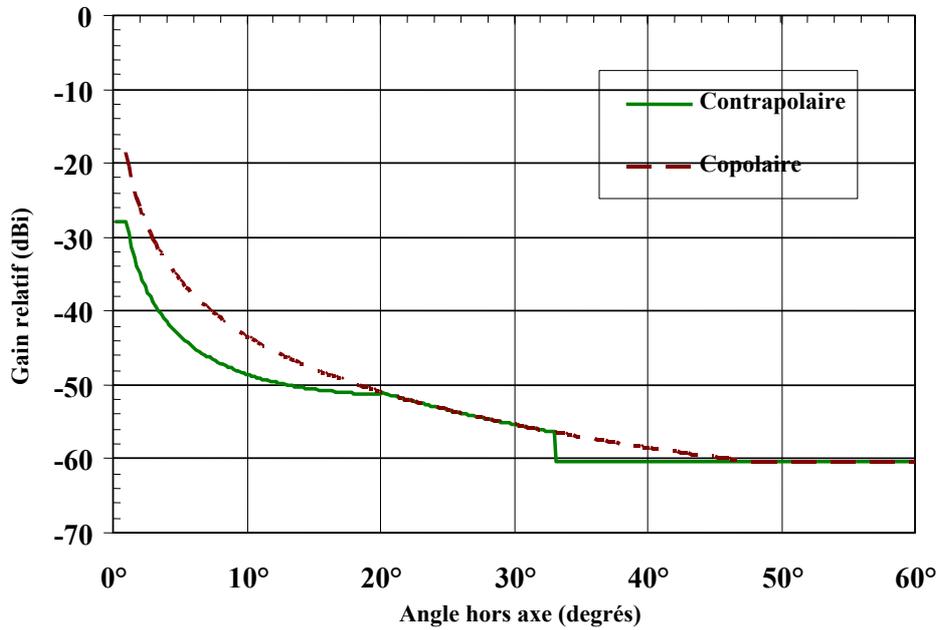


FIGURE 16

Antenne de 3,7 m, $f = 10,7$ GHz, diagramme copolaire mesuré relatif

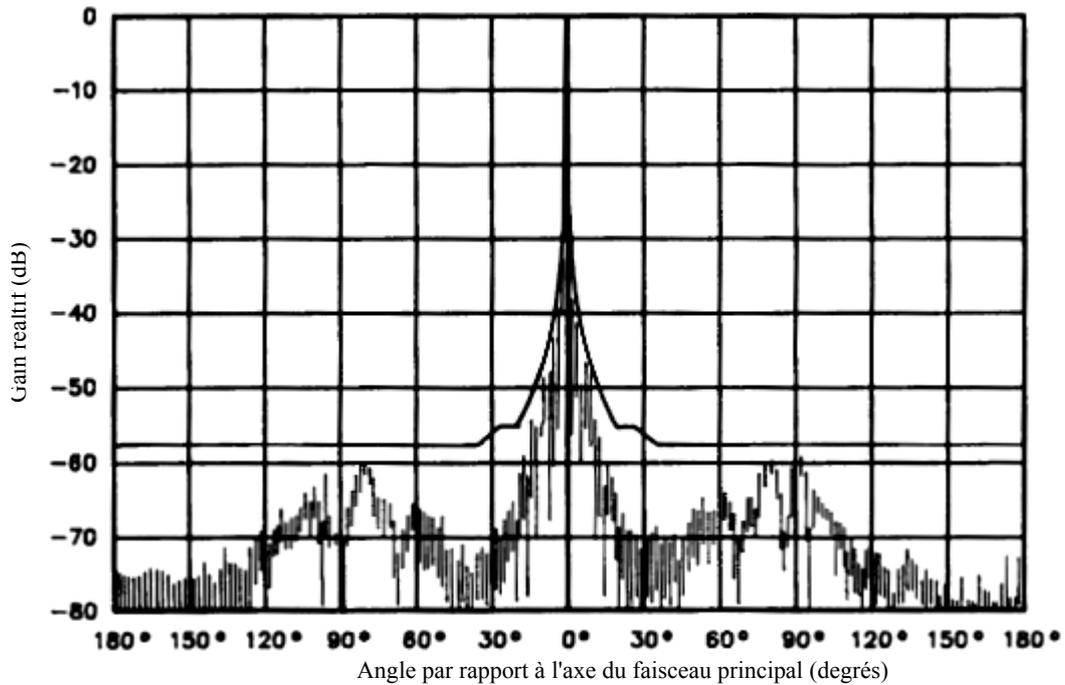


FIGURE 17

Antenne de 3,7 m, $f = 10,7$ GHz, diagramme contrapolaire mesuré relatif

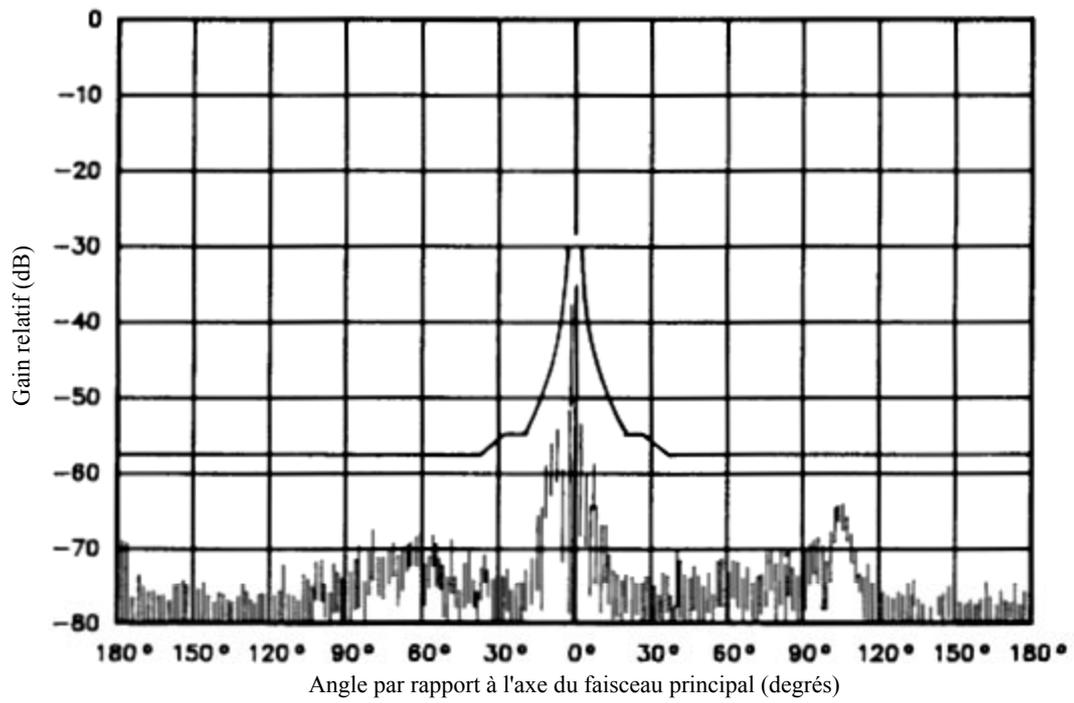
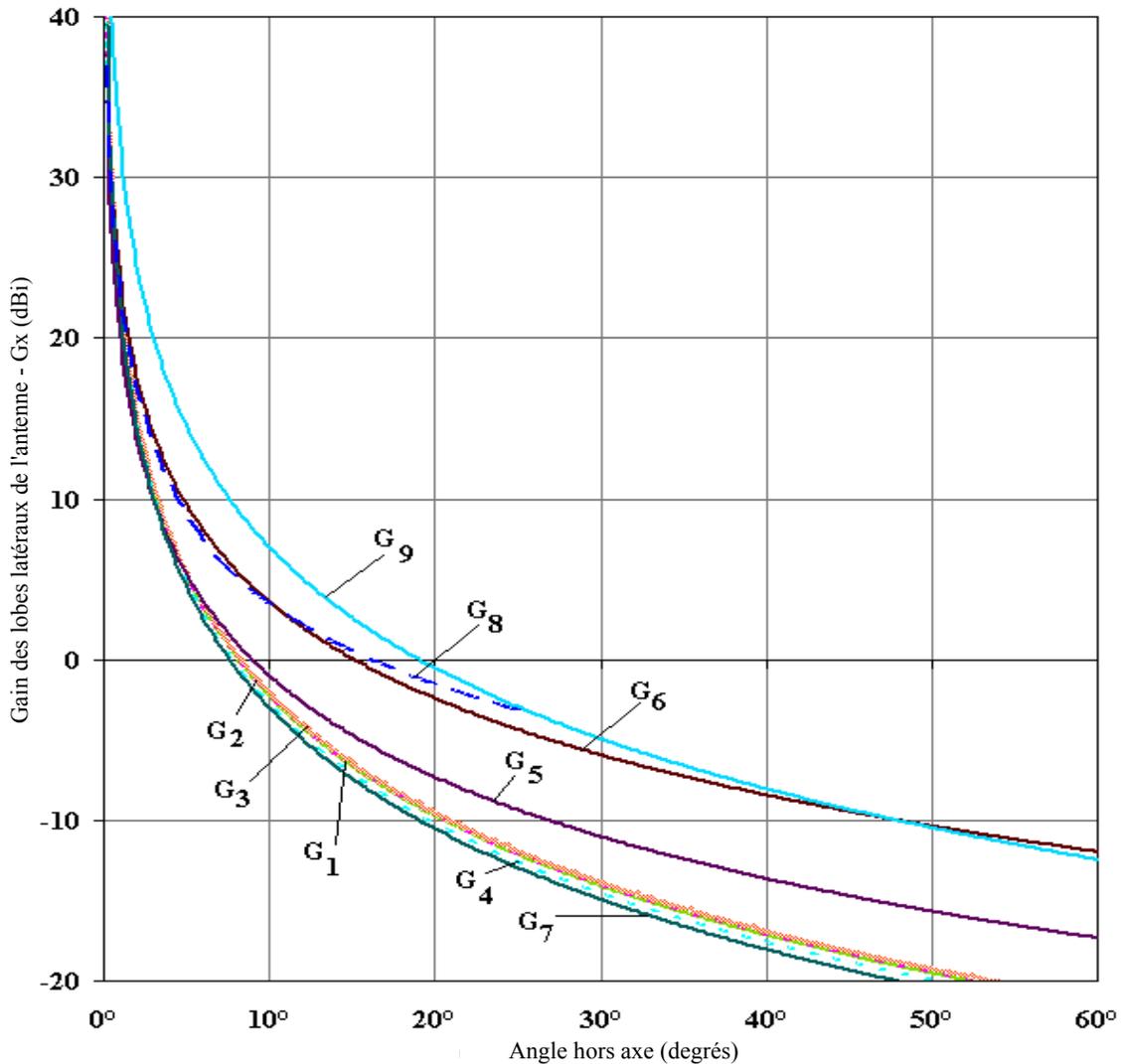


FIGURE 18

Diagramme de gain contrapolaire absolu des lobes latéraux de l'antenne



$$G_1(\varphi) = 22,70 + 0,29\varphi - 25 \log \varphi \quad (\text{pour } D/\lambda = 25)$$

$$G_2(\varphi) = 22,69 + 0,37\varphi - 25 \log \varphi \quad (\text{pour } D/\lambda = 50)$$

$$G_3(\varphi) = 22,87 + 0,42\varphi - 25 \log \varphi \quad (\text{pour } D/\lambda = 75)$$

$$G_4(\varphi) = 22,15 + 0,47\varphi - 25 \log \varphi \quad (\text{pour } D/\lambda = 100)$$

$$G_5(\varphi) = 20,0 - 21 \log \varphi$$

$$G_6(\varphi) = 23,6 - 20 \log \varphi$$

$$G_7(\varphi) = 22,0 - 25 \log \varphi$$

$$G_8(\varphi) = 23,0 - 20 \log \varphi \quad \text{pour } \varphi_r \leq \varphi \leq 7^\circ$$

$$= 20,2 - 16,7 \log \varphi \quad \text{pour } 7^\circ < \varphi \leq 26,3^\circ$$

$$= 32,0 - 25 \log \varphi \quad \text{pour } 26,3^\circ < \varphi \leq 48^\circ$$

$$G_9(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$$