

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1851-1
(01/2018)

Modèles mathématiques pour les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiorepérage à utiliser dans les analyses de brouillage

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1851-1

Modèles mathématiques pour les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiorepérage à utiliser dans les analyses de brouillage

(2009-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit des diagrammes d'antenne de systèmes radar du service de radiorepérage à utiliser pour les analyses des brouillages dus à une source unique et des brouillages cumulatifs. En fonction de l'ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB et du niveau de crête des premiers lobes latéraux, il est possible de sélectionner l'ensemble d'équations approprié pour les diagrammes en azimut et en élévation. On définit à la fois des diagrammes des valeurs de crête, pour une seule source de brouillage, et des valeurs moyennes, pour plusieurs sources de brouillage.

Mots clés

Diagrammes d'antenne, distribution du courant, champ rayonné, équations des diagrammes des valeurs de crête et des valeurs moyennes

Abréviations/Glossaire

ADP diagramme de rayonnement d'antenne (*antenna directivity pattern*)

Recommandations UIT-R connexes

Recommandations UIT-R F.699, UIT-R F.1245, UIT-R M.1638, UIT-R M.1652, UIT-R M.1849

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

qu'un modèle mathématique est nécessaire afin de définir des diagrammes d'antenne génériques à utiliser dans les analyses de brouillage lorsqu'aucun diagramme spécifique n'est disponible pour les systèmes radar du service de radiorepérage,

recommande

1 si des diagrammes d'antenne et/ou des équations de diagramme applicables à un ou des radars sont disponibles dans d'autres Recommandations UIT-R traitant des caractéristiques de systèmes radar du service de radiorepérage, d'utiliser ceux-ci;

2 en l'absence d'informations concernant les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiorepérage considérés, d'utiliser l'un des modèles mathématiques d'antenne de référence décrits dans l'Annexe 1 pour les analyses de brouillage.

Annexe 1

Modèles mathématiques pour les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiorepérage à utiliser dans les analyses de brouillage

1 Introduction

Un modèle mathématique générique pour les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiorepérage est nécessaire lorsque ces diagrammes ne sont pas définis dans les Recommandations UIT-R applicables au système radar du service de radiorepérage analysé. Les modèles génériques de diagramme d'antenne pourraient être utilisés dans les analyses avec une ou plusieurs sources de brouillage, tout comme dans le cas des autres systèmes radar et des autres systèmes de communication.

Ce texte décrit des diagrammes d'antenne qu'il est proposé d'utiliser. Compte tenu des données disponibles concernant l'ouverture de faisceau et le niveau de crête des premiers lobes latéraux, il est possible de sélectionner l'ensemble d'équations approprié pour les diagrammes en azimut et en élévation.

Le Tableau 1 donne le résultat du recensement des intervalles de paramètres d'antenne dans les Recommandations UIT-R.

TABLEAU 1

Limites de paramètres d'antenne recensées

Paramètre d'antenne	Unité	Description	Valeur minimale	Valeur maximale
Fréquences d'émission et de réception	MHz		420	33 400
Type de polarisation d'antenne		Horizontale, verticale, circulaire		
Type d'antenne		Antenne omnidirectionnelle, réseau d'éléments yagi, réflecteur parabolique, antenne réseau à commande de phase		
Type de faisceau – le plus courant		En éventail, crayon, en cosécante carrée		
Gain en émission et en réception	dBi		25,6	54
Ouverture de faisceau en élévation (–3 dB)	degrés	Faisceau-crayon	0,25	5,75
		Cosécante carrée (CSC ²) (équation (12) et Tableau 4)	3,6 (θ_3) 20 (θ_{Max})	3,6 (θ_3) 44 (θ_{Max})
Ouverture de faisceau en azimut (–3 dB)	degrés	Faisceau-crayon	0,4	5,75
Limite de l'angle de balayage en élévation	degrés		–60	+90
Limite de l'angle de balayage en azimut	degrés		30 secteurs	360
Niveau des premiers lobes latéraux au-dessous du niveau de crête du lobe principal	dB		–35	–15,6

Le Tableau 1 a servi de guide pour l'élaboration des types et diagrammes d'antenne proposés.

2 Formules mathématiques

2.1 Antenne radar à ouverture de faisceau étroite

2.1.1 Considérations générales

En l'absence d'informations particulières concernant l'ouverture de faisceau à 3 dB et la forme de la distribution du courant ou du champ rayonné dans l'ouverture de l'antenne, mais si on dispose d'informations sur la taille de l'antenne, une approximation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance θ_3 (degrés) est donnée par $70 \lambda/D$, où λ la longueur d'onde et D la longueur de l'antenne sont exprimées dans la même unité; voir le point 4.1 du *recommande* de la Recommandation UIT-R F.699.

Si on a accès aux informations relatives à la forme de la distribution du courant ou du champ rayonné dans l'ouverture de l'antenne, on peut utiliser un modèle plus précis de diagramme de l'antenne.

Afin de simplifier l'analyse, la distribution du courant le long de l'antenne est considérée comme étant fonction de l'azimut ou de l'élévation. Le diagramme de rayonnement, $F(\mu)$, pour une distribution donnée est donné par la transformée de Fourier finie comme suit:

$$F(\mu) = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} f(x) \cdot e^{j\mu x} dx \quad (1)$$

où:

$f(x)$: forme relative de la distribution du champ, voir le Tableau 2 et la Fig. 1

μ : fourni dans le tableau ci-dessous = $\pi \left(\frac{l}{\lambda} \right) \sin(\alpha)$

l : longueur totale de l'ouverture

λ : longueur d'onde

ω : angle de pointage (balayage) du faisceau en élévation ou en azimut par rapport à la normale à l'ouverture

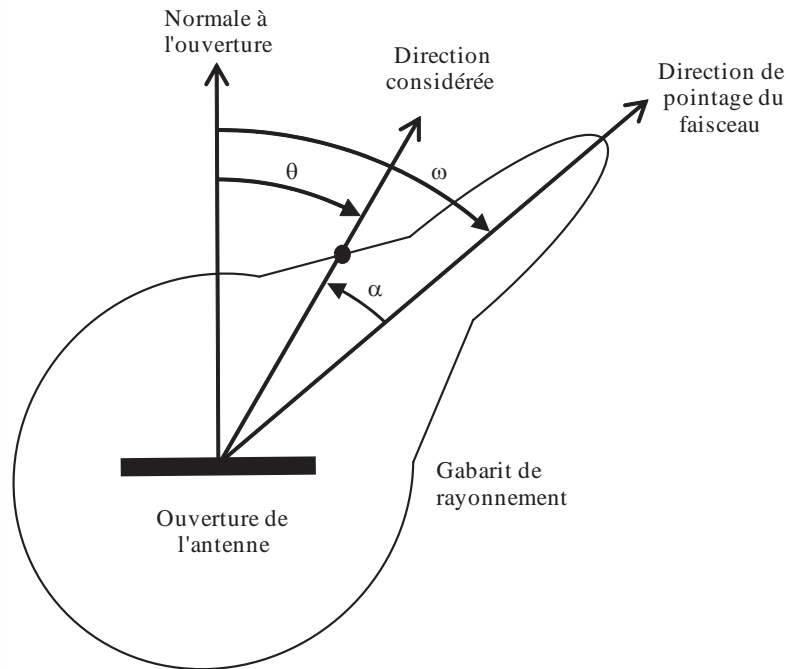
θ : angle entre la direction considérée et la normale à l'ouverture

α : angle entre la direction considérée et la direction de l'angle de pointage ($\alpha = \theta - \omega$)

x : distance normalisée le long de l'ouverture $-1 \leq x \leq 1$

j : notation des nombres complexes.

FIGURE 1
Diagramme polaire de l'antenne



M.185101

Les diagrammes d'antenne théoriques proposés pour les antennes présentant une distribution de champ uniforme en phase sont présentés dans le Tableau 2.

Les diagrammes d'antenne théoriques proposés pour les antennes réseau à commande de phase sont donnés au § 7, compte tenu des effets particuliers liés aux lobes latéraux qui se produisent pour les grands angles de balayage ω .

Les paramètres et formules pour déterminer les diagrammes de rayonnement d'antenne qui sont présentés dans le Tableau 2 (ainsi que dans le Tableau 3 et les figures associés) ne sont corrects que dans le cas où l'amplitude du champ au bord de l'ouverture d'antenne est égale à zéro et que pour le lobe principal et les deux premiers lobes latéraux du diagramme d'antenne.

Avec d'autres valeurs de l'amplitude du champ au bord de l'ouverture de l'antenne, la forme du diagramme d'antenne et ses paramètres peuvent être très différents de la définition théorique contenue dans la présente Recommandation.

En l'absence de toute autre information, un ajustement simplifié du diagramme d'antenne avec le lobe principal théorique et un gabarit pour les autres directions peut être envisagé pour les études de partage et de compatibilité avec les systèmes radar. Les gabarits de valeurs de crête ou de valeurs moyennes sont recommandés pour effectuer de telles études avec respectivement une seule ou plusieurs sources de brouillage. Le gabarit s'éloigne du point de rupture issu du diagramme théorique et décroît dans les lobes latéraux jusqu'à un gabarit plancher pour représenter les lobes latéraux éloignés et les lobes arrière de l'antenne, comme décrit au § 2.1.3.

Si des diagrammes d'antenne radar réels sont disponibles, il faudrait les numériser et les utiliser.

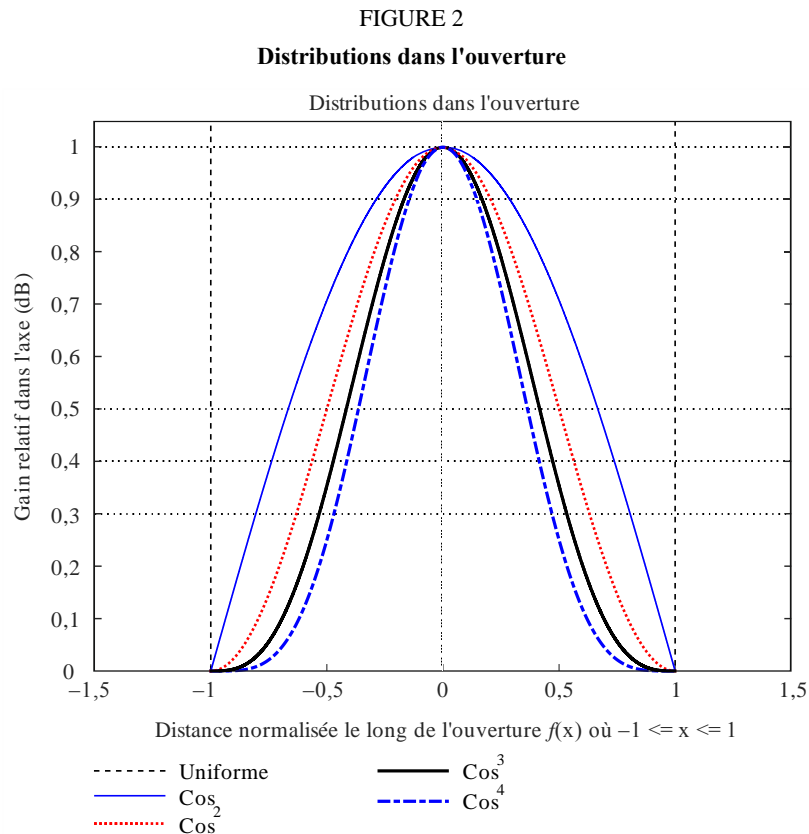
2.1.2 Equations d'antenne théoriques

On trouvera dans le Tableau 2 les équations des diagrammes de rayonnement et les paramètres associés pour différentes formes de la distribution de champ dans l'ouverture de l'antenne.

TABLEAU 2
Paramètres théoriques de rayonnement d'antenne

Forme relative de la distribution du champ $f(x)$ où $-1 \leq x \leq 1$	Diagramme de rayonnement $F(\mu)$	Ouverture de faisceau à mi-puissance θ_3 (degrés)	μ en fonction de θ_3	Niveau des premiers lobes latéraux au-dessous du niveau de crête du lobe principal (dB)	Equation n°
Valeur uniforme de 1	$\frac{\sin(\mu)}{\mu}$	$50,8 \left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-13,2	(2)
$\text{COS}(\pi \cdot x/2)$	$\frac{\pi}{2} \left[\frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]$	$68,8 \left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 68,8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-23	(3)
$\text{COS}^2(\pi \cdot x/2)$	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[\frac{\sin(\mu)}{\pi^2 - \mu^2} \right]$	$83,2 \left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 83,2 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-32	(4)
$\text{COS}^3(\pi \cdot x/2)$	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8} \left[\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot \pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]$	$95 \left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 95 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-40	(5)
$\text{COS}^4(\pi \cdot x/2)$	$\frac{3\pi^4 \sin(\mu)}{2\mu(\mu^2 - \pi^2)(\mu^2 - 4\pi^2)}$	$106 \left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 106 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	-47	(6)

où θ_3 est l'ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB à mi-puissance (degrés). Les formes relatives des fonctions de distribution du champ $f(x)$, définies dans le Tableau 2, sont représentées graphiquement sur la Fig. 2.

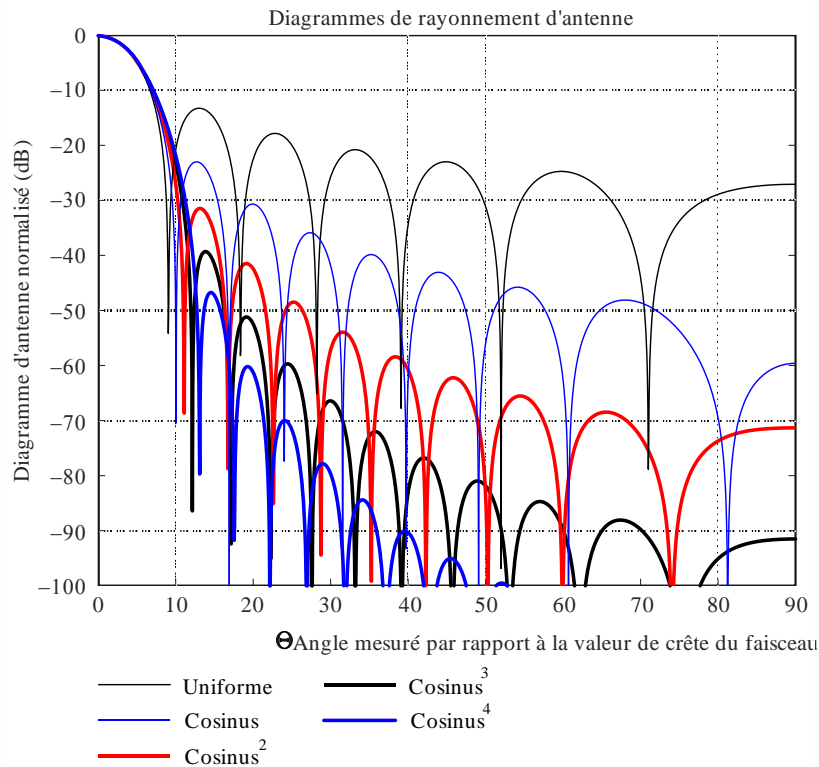


Compte tenu de l'ouverture de faisceau à mi-puissance, θ_3 , la valeur de μ peut être redéfinie en fonction de cette ouverture. Pour cela, on remplace la grandeur $\left(\frac{l}{\lambda}\right)$ dans $\mu = \pi \left(\frac{l}{\lambda}\right) \sin(\alpha)$ par une constante qui dépend de la forme relative de la distribution du champ, divisée par l'ouverture de faisceau à mi-puissance, θ_3 , comme indiqué dans le Tableau 2. Pour obtenir les valeurs de cette constante, à savoir 50,8, 68,8, 83,2, 95 et 106, indiquées dans le Tableau 2, on pose $F(\mu) = -3$ dB et on détermine l'angle θ .

La Figure 3 illustre divers diagrammes d'antenne à ouverture rectiligne pour les fonctions de distribution du champ uniforme, en cosinus (COS), en cosinus carré (COS^2), en cosinus cube (COS^3) et en cosinus à la puissance quatre (COS^4). Etant donné que les diagrammes sont symétriques mathématiquement, seule une partie est représentée. Pour la comparaison, tous les diagrammes sont présentés pour une même ouverture de faisceau à 3 dB de 6,0 degrés, ce qui signifie que le rapport λ/l peut prendre des valeurs différentes.

FIGURE 3

Comparaison des diagrammes d'antenne pour diverses distributions dans l'ouverture rectiligne, l'ouverture de faisceau à 3 dB est de 6,0 degrés (le diagramme est symétrique)



M.1851-03

2.1.3 Procédure à suivre pour déterminer le gabarit

A partir de la Fig. 3 ci-dessus, on détermine les équations de gabarit en utilisant une courbe passant par les niveaux de crête des lobes latéraux d'antenne. Une comparaison de l'intégrale des diagrammes théoriques et des gabarits proposés montre alors que la différence entre la puissance de crête et la puissance moyenne dans un plan de coupe principal est d'environ 4 dB. Les définitions suivantes s'appliquent:

- convertir les équations (2) à (6) en dB en utilisant $20 \cdot \log_{10}$ (valeur absolue (diagramme de rayonnement));
- normaliser les gains de diagramme d'antenne. La distribution de champ uniforme ne nécessite pas de normalisation, appliquer $-3,92$ dB pour celle en cosinus, $-6,02$ dB pour celle en cosinus carré, $-7,44$ dB pour celle en cosinus cube et $-8,52$ dB pour celle en cosinus à la puissance quatre;
- représenter graphiquement le gabarit, utiliser le diagramme de rayonnement théorique donné dans le Tableau 2, comme indiqué aux deux étapes précédentes, jusqu'au point de rupture du diagramme des valeurs de crête ou des valeurs moyennes, selon le cas. Après le point de rupture, appliquer le gabarit indiqué dans le Tableau 3;
- le gabarit des valeurs de crête passe par les crêtes des lobes latéraux. Il est utilisé pour le brouillage dû à une seule source;
- le gabarit des valeurs moyennes donne une approximation de l'intégrale du diagramme théorique. Il est utilisé pour le brouillage cumulatif;
- le point de rupture du diagramme des valeurs de crête est le point d'amplitude (dB) au-dessous du gain maximal auquel le gabarit des valeurs de crête s'éloigne du diagramme théorique, comme indiqué dans le Tableau 3;

- le point de rupture du diagramme des valeurs moyennes est le point d'amplitude (dB) au-dessous du gain maximal auquel le gabarit des valeurs moyennes s'éloigne du diagramme théorique, comme indiqué dans le Tableau 3;
- θ_3 est l'ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB (degrés);
- θ est l'angle dans le plan de coupe principal en élévation (vertical) ou en azimut (horizontal) (degrés);
- le gabarit des valeurs moyennes est le gabarit des valeurs de crête moins environ 4 dB. Il est à noter que les points de rupture du diagramme des valeurs de crête et du diagramme des valeurs moyennes sont différents.

Le Tableau 3 donne les équations à utiliser dans les calculs.

TABLEAU 3

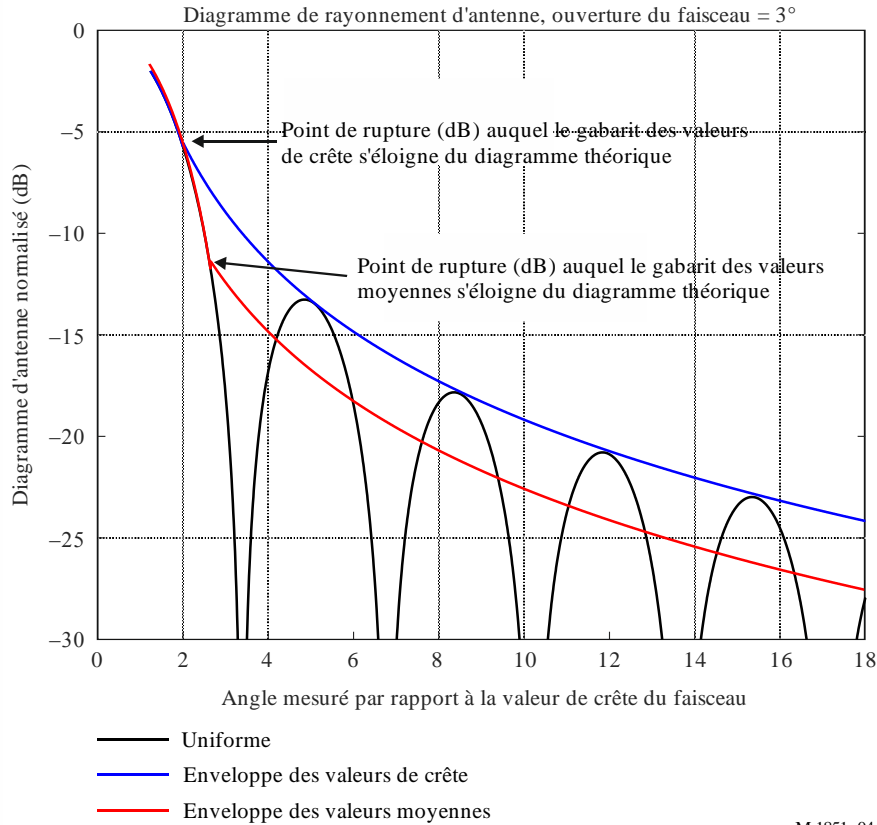
Equations des gabarits théoriques des valeurs de crête et des valeurs moyennes

Distribution de champ	Equation du gabarit au-delà du point de rupture du diagramme auquel le gabarit s'éloigne du diagramme théorique (dB)	Point de rupture du diagramme des valeurs de crête auquel le gabarit s'éloigne du diagramme théorique (dB)	Point de rupture du diagramme des valeurs moyennes auquel le gabarit s'éloigne du diagramme théorique (dB)	Constante ajoutée au diagramme des valeurs de crête pour le convertir en gabarit des valeurs moyennes (dB)	Niveau du gabarit plancher (dB)	Equation N°
Uniforme	$-8,584 \cdot \ln \left(2,876 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-5,75	-12,16	-3,72	-30	(7)
COS	$-17,51 \cdot \ln \left(2,33 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-14,4	-20,6	-4,32	-50	(8)
COS ²	$-26,882 \cdot \ln \left(1,962 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-22,3	-29,0	-4,6	-60	(9)
COS ³	$-35,84 \cdot \ln \left(1,756 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-31,5	-37,6	-4,2	-70	(10)
COS ⁴	$-45,88 \cdot \ln \left(1,56 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-39,4	-42,5	-2,61	-80	(11)

La fonction $\ln()$ est la fonction logarithme naturel. La Figure 4 montre un exemple de points de rupture.

FIGURE 4

Exemple de points de rupture



2.2 Antenne radar à diagramme en cosécante carrée en élévation

Le diagramme en cosécante carrée est un cas particulier. La puissance (et non le champ) est donnée par:

$$G(\theta) = G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2 \tag{12}$$

où:

- $G(\theta)$: diagramme en cosécante carrée entre les angles θ_1 et θ_{Max}
- $G(\theta_1)$: gain du diagramme à θ_1
- θ_1 : ouverture du faisceau d'antenne à mi-puissance à laquelle le diagramme en cosécante carrée commence = θ_3
- θ_{Max} : angle maximal auquel le diagramme en cosécante carrée s'arrête
- θ : angle d'élévation (degrés)
- θ_3 : ouverture du faisceau d'antenne à mi-puissance (degrés).

Le gain d'antenne du diagramme des valeurs moyennes n'est pas pris en considération pour le diagramme en cosécante carrée. Il devrait être utilisé pour un brouillage dû à une source unique ou pour un brouillage cumulatif. Le diagramme en cosécante est appliqué comme indiqué dans le Tableau 4:

TABLEAU 4

Equations du diagramme d'antenne en cosécante carrée

Equation pour la cosécante carrée	Condition	Equation n°
$\frac{\sin(\mu)}{\mu}$; $\mu = (\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-\theta_3 \leq \theta \leq +\theta_3$	(13)
$G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2$	$+\theta_3 \leq \theta \leq \theta_{Max}$	(14)
Niveau plancher pour la cosécante (exemple = -55 dB)	$\theta_{Max} \leq \theta \leq \theta_{90}$	(15)
$G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$	$\theta_1 = \theta_3$	(16)

A noter que $G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2$ désigne l'amplitude du diagramme de puissance, tandis que $\frac{\sin(\mu)}{\mu}$ et

$G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$ désignent l'amplitude du champ du diagramme de rayonnement $F(\mu)$,

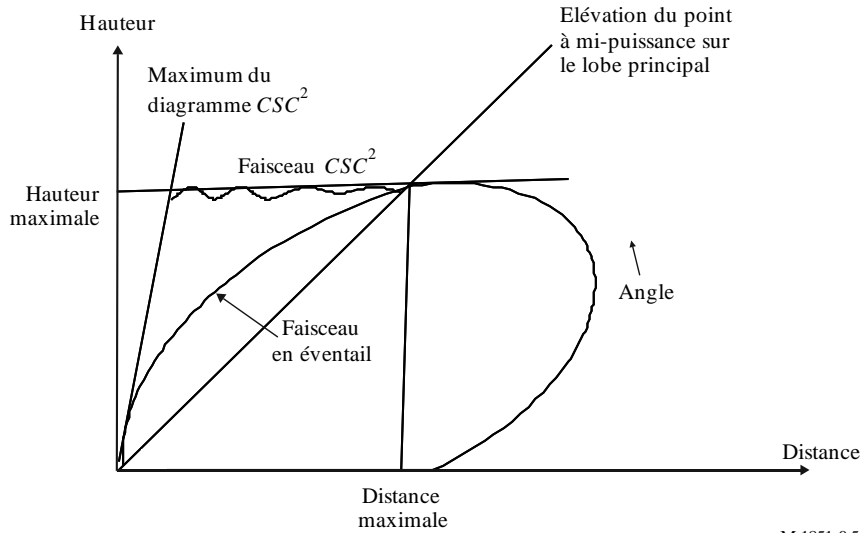
qu'il faut mettre au carré pour obtenir une amplitude de puissance. La solution pourrait consister à

écrire $\left(\frac{\sin(\mu)}{\mu} \right)^2$ et $G(\theta_1) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}} \right)^2$.

Les Figures ci-dessous représentent graphiquement les diagrammes.

FIGURE 5

Couverture du faisceau en cosécante carrée d'un radar de recherche

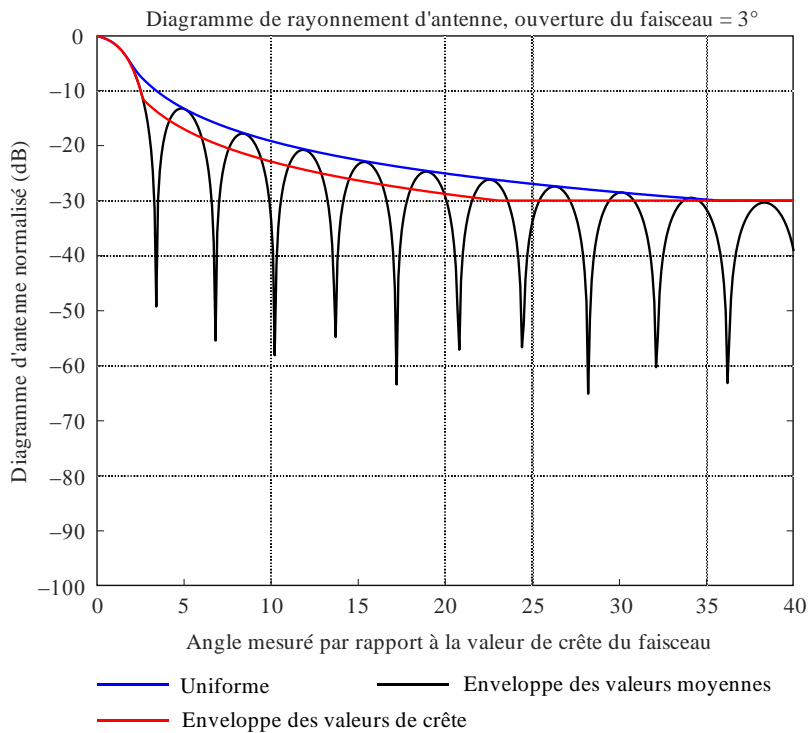


M.1851-05

2.3 Diagrammes théoriques et gabarits pour différents diagrammes de rayonnement d'antenne

FIGURE 6

Diagramme d'antenne, enveloppe des valeurs de crête $\left(\frac{\sin\theta}{\theta}\right)^2$ en radians ou $\left(\frac{\sin\theta}{\theta} \times \frac{180}{\pi}\right)^2 \gg \left(\frac{\sin\theta}{\theta} \times 57,3\right)^2$ en degrés, et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution de champ uniforme



M.1851-06

FIGURE 7

Exemple de diagramme d'antenne polaire, enveloppe des valeurs de crête et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution de champ uniforme

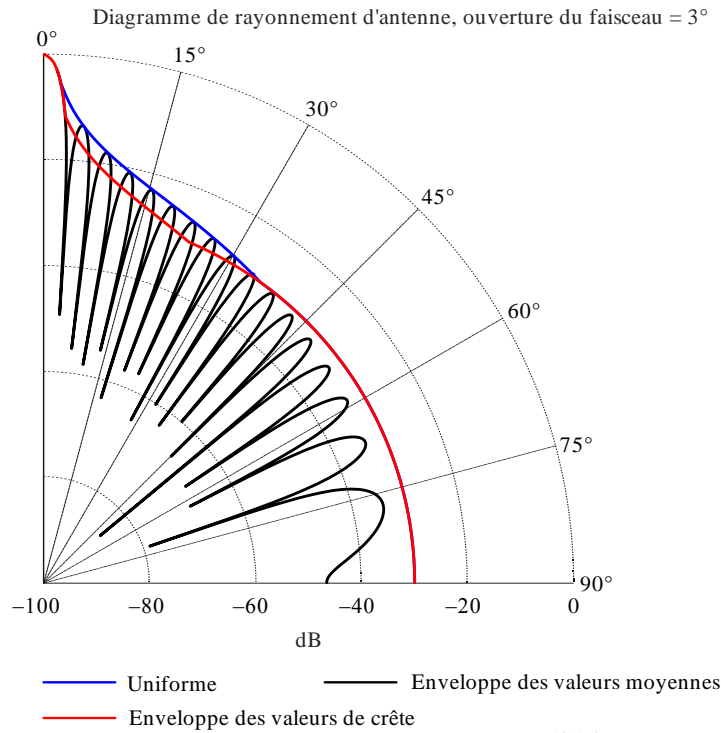


FIGURE 8

Diagramme d'antenne, enveloppe des valeurs de crête et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution de champ en cosinus

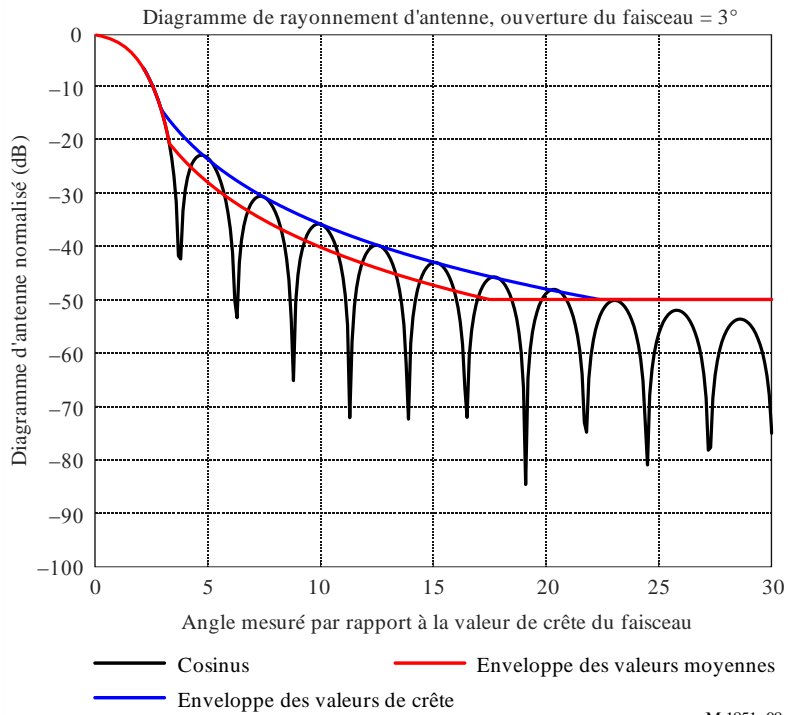


FIGURE 9

Diagramme d'antenne, enveloppe des valeurs de crête et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution en cosinus carré

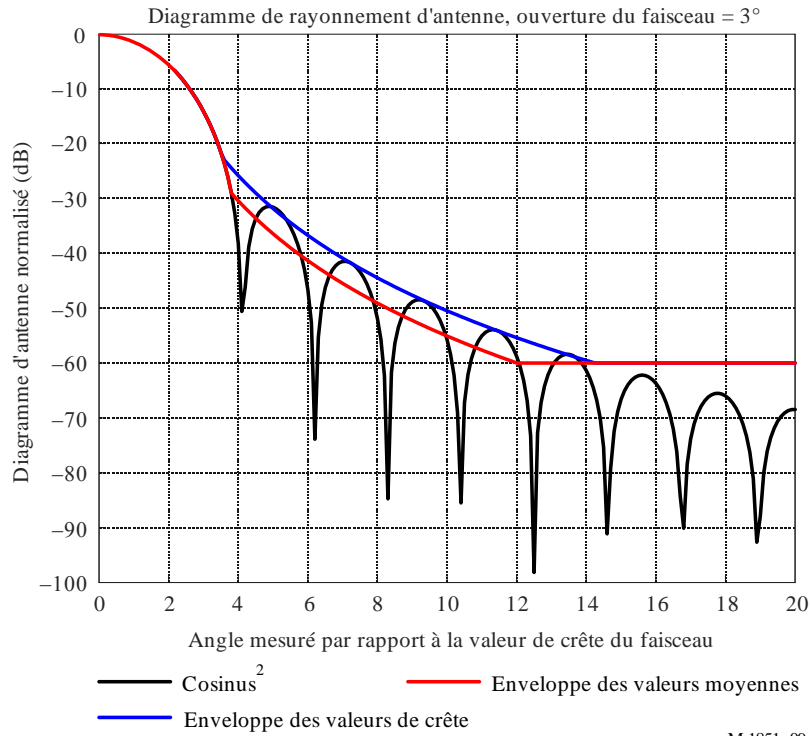


FIGURE 10

Diagramme d'antenne, enveloppe des valeurs de crête et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution en cosinus cube

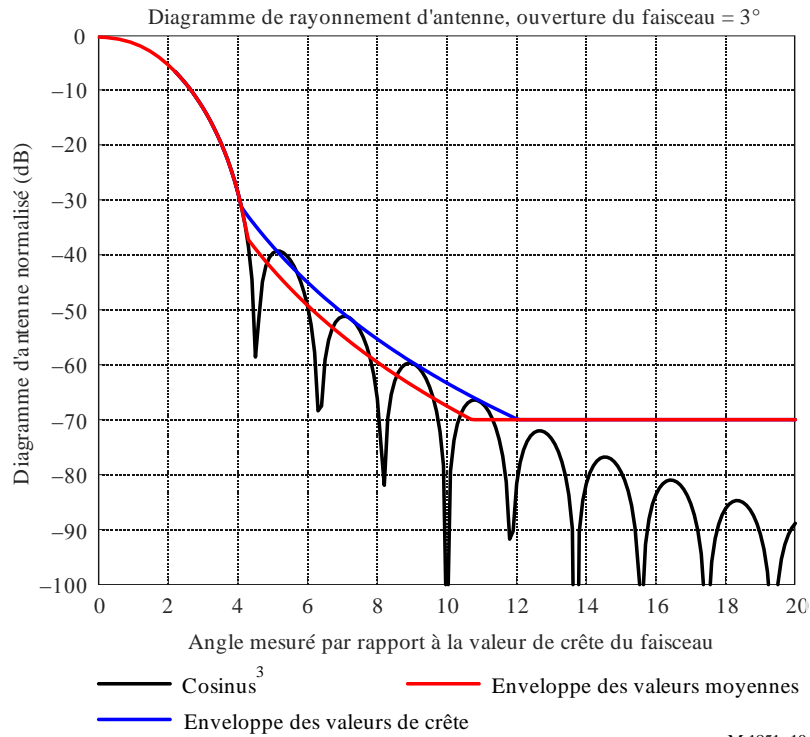


FIGURE 11

Diagramme d'antenne, enveloppe des valeurs de crête et enveloppe des valeurs moyennes pour une distribution de puissance en cosinus à la puissance quatre

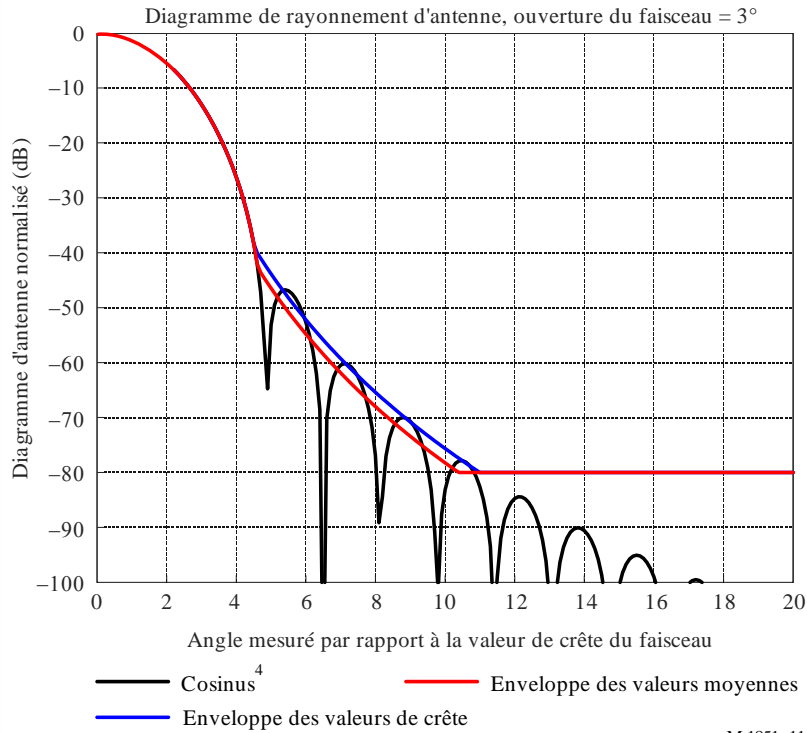
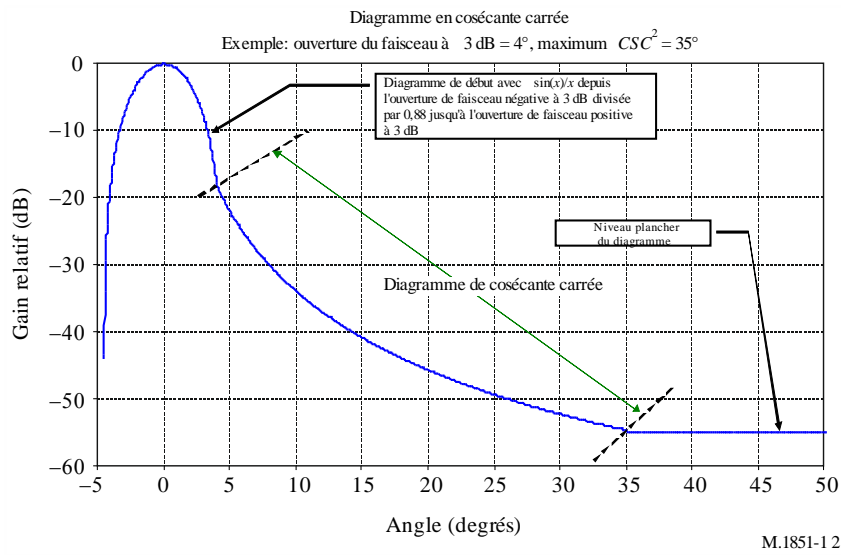


FIGURE 12

Enveloppe de diagramme d'antenne CSC²



3 Sélection du diagramme d'antenne

La sélection du diagramme d'antenne peut se faire en fonction des informations concernant l'ouverture de faisceau à mi-puissance et le niveau de crête des lobes latéraux. On trouvera des indications dans le Tableau 5 lorsqu'on dispose d'informations concernant l'ouverture de faisceau à mi-puissance.

TABLEAU 5
Sélection du diagramme en approximation

Intervalle de niveaux des premiers lobes latéraux au-dessous du niveau de crête normalisé du lobe principal (dB)	Type possible de distribution pour l'antenne et cosinus à la puissance n	Numéro de l'équation du diagramme théorique	Numéro de l'équation du gabarit
13,2 à < 20	Uniforme	(2)	(7)
20 à < 30	$n = 1$	(3)	(8)
30 à < 39	$n = 2$	(4)	(9)
39 à < 45	$n = 3$	(5)	(10)
≥ 45	$n = 4$	(6)	(11)

4 Comparaison de diagrammes d'antenne

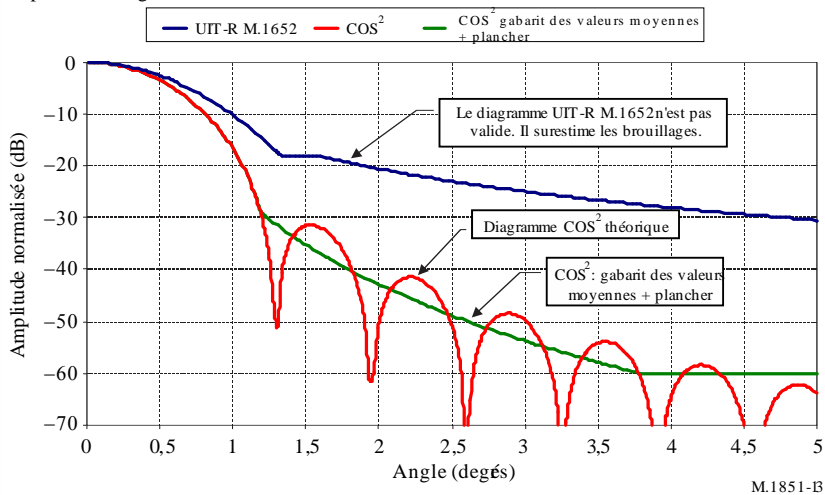
La Recommandation UIT-R M.1652 contient un modèle mathématique pour un diagramme d'antenne radar du service de radiorepérage qui a été utilisé dans des analyses de brouillage. Elle donne les équations de plusieurs diagrammes en fonction du gain d'antenne. Une comparaison entre les modèles élaborés dans cette Recommandation et le radar C de la Recommandation UIT-R M.1638-0 montre que le diagramme de la Recommandation UIT-R M.1652 n'est pas optimal. Comme le montre la Fig. 13, le diagramme de la Recommandation UIT-R M.1652 surestime considérablement le gain d'antenne en dehors de l'axe de visée de l'antenne (0°).

Il convient aussi de noter que les équations définies dans la Recommandation UIT-R F.699 ont tendance à surestimer les niveaux des lobes latéraux pour certains systèmes radar, et que ces équations n'ont pas été élaborées pour les systèmes radar.

FIGURE 13

Comparaison de diagrammes d'antenne

Comparisons des diagrammes UIT-R M.1652 et COS^2
(Exemple radar-C: gain = 44 dBi, ouverture de faisceau $EI = Az = 0,95^\circ$, niveau des 1ers lobes latéraux = -35 dB)



5 Approximation de diagrammes tridimensionnels (3-D)

Les données des représentations graphiques des contours peuvent être utilisées en tant qu'outils d'analyse de simulation. On peut facilement faire une approximation du diagramme d'antenne tridimensionnel (3-D), en multipliant les plans de coupe de tension principaux horizontal et vertical. Pour cela, on place le diagramme correspondant au plan principal vertical dans la colonne centrale d'une matrice carrée et on met à zéro tous les autres éléments. On place aussi le diagramme correspondant au plan principal horizontal dans la ligne centrale d'une matrice carrée et on met à zéro tous les autres éléments. On multiplie les deux matrices et on en fait la représentation graphique. Il est à noter que tous les diagrammes doivent être normalisés.

L'équation utilisée pour calculer le diagramme tridimensionnel est donnée par:

$$P_{i,h} = 20 \log \left[\sum_{k=0}^N |H_{k,i} V_{h,k}| \right] \quad (17)$$

où les matrices en élévation et en azimut, en volts, sont définies dans les équations (18) et (19).

Le diagramme vertical est donné par:

$$\text{matrice verticale } (V_{h,k}) = \begin{vmatrix} 0 & \dots & 0 & El_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & El_3 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & El_{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_N & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (18)$$

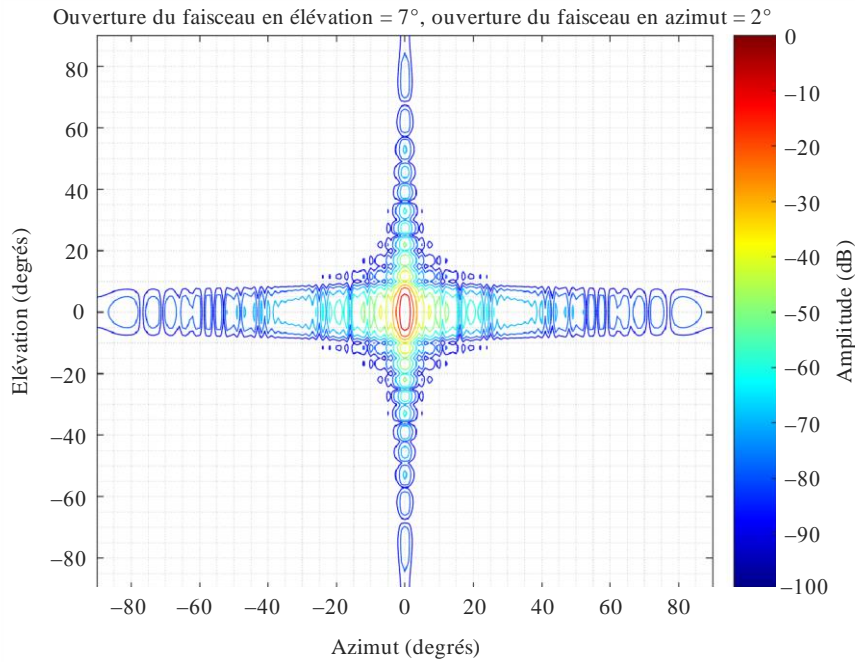
Le diagramme horizontal est donné par:

$$\text{matrice horizontale } (H_{k,i}) = \begin{vmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ Az_1 & Az_2 & & & Az_{N-1} & Az_N \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (19)$$

Les Figures 14 et 15 montrent un exemple de diagramme tridimensionnel.

FIGURE 14

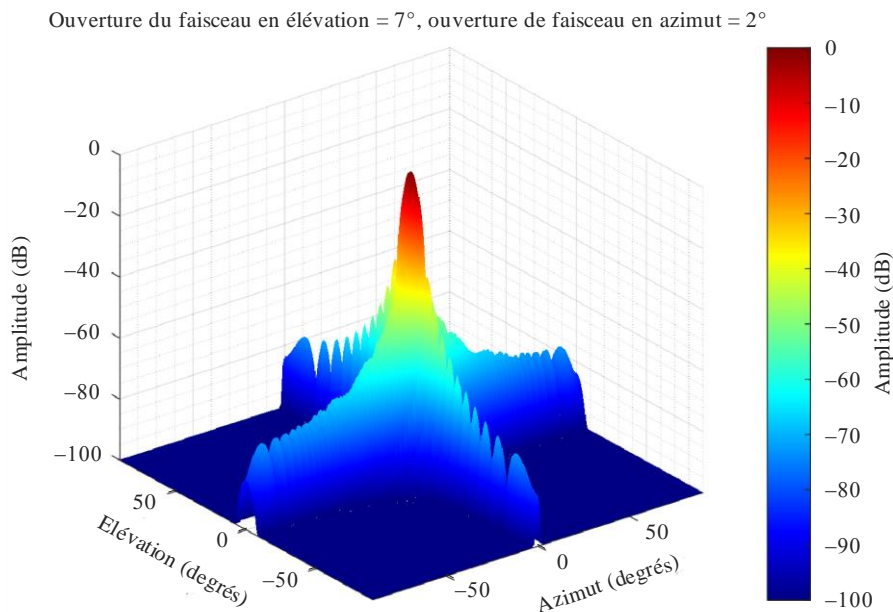
Diagramme normalisé de contour (dB)



M.1851-14

FIGURE 15

Exemple de représentation de diagramme d'antenne tridimensionnel relatif en azimut et en élévation, distribution de champ uniforme dans une ouverture rectangulaire, affaiblissement (dB) en fonction de l'angle hors axe; θ (élévation, degrés) et φ (azimut, degrés)



M.1851-15

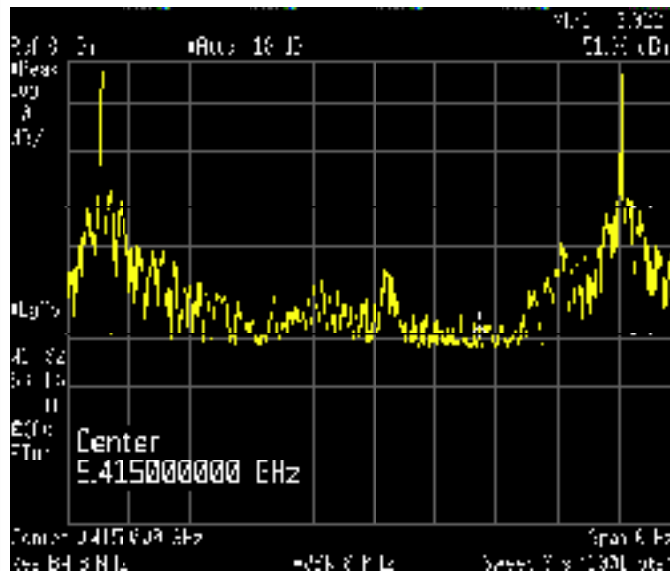
6 Exemples de diagrammes mesurés

Les Figures 16 et 17 montrent des exemples de diagrammes d'antenne radar mesurés, dans la bande des 9 GHz. L'axe des X représente l'angle d'azimut sur plus de 360°, et l'axe des Y représente le niveau de puissance reçue pour chaque angle d'azimut. Ce diagramme de puissance doit être

normalisé respectivement par rapport à son maximum ou par rapport à une antenne isotrope pour pouvoir être considéré comme le diagramme d'antenne ou le diagramme de rayonnement.

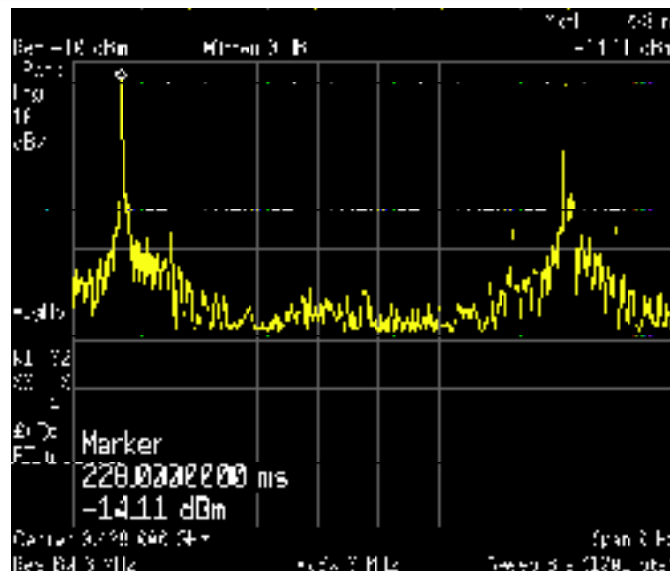
Une première analyse de ces diagrammes d'antenne mesurés indique que le niveau des premiers lobes latéraux est proche de -30 dBc avec une pente notable pour les lobes latéraux, ce qui permet d'estimer approximativement qu'une loi de rayonnement dans l'ouverture en \cos^2 a été utilisée. Il semblerait qu'un niveau plancher pour le gabarit théorique de -60 dBc donné par le modèle en \cos^2 soit dans ce cas un peu trop faible en raison de la présence d'un lobe arrière et de lobes de diffraction à l'arrière dans ce diagramme d'antenne; si nécessaire, il est donc recommandé d'utiliser des diagrammes d'antenne réels et non des diagrammes théoriques dans la mesure du possible.

FIGURE 16
Exemple de diagramme d'antenne mesuré



M.1851-1 6

FIGURE 17
Exemple de diagramme d'antenne mesuré

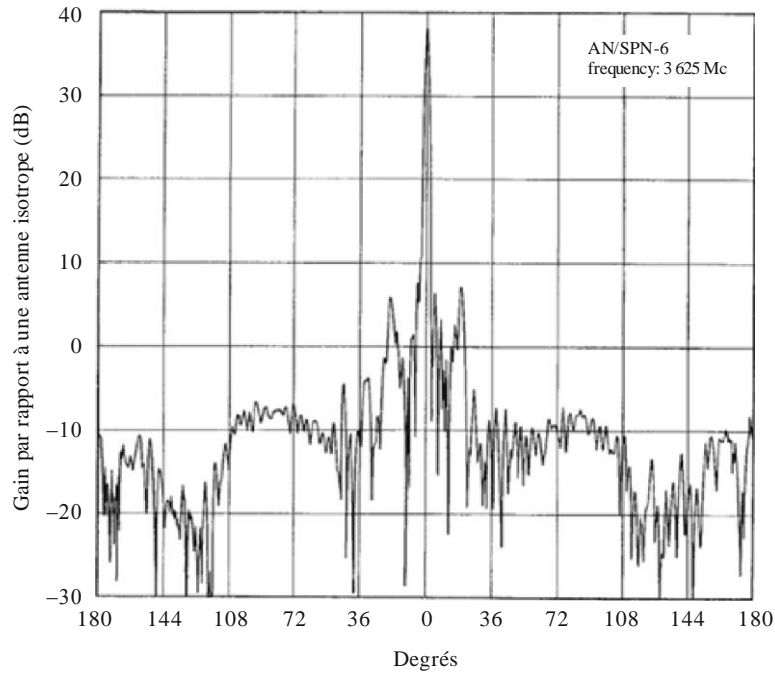


M.1851-1 7

Les Figures 18 et 19 montrent deux autres exemples.

FIGURE 18

Mesure pour une antenne radar AN/SPN-6 à 3,6 GHz et 38 dBi

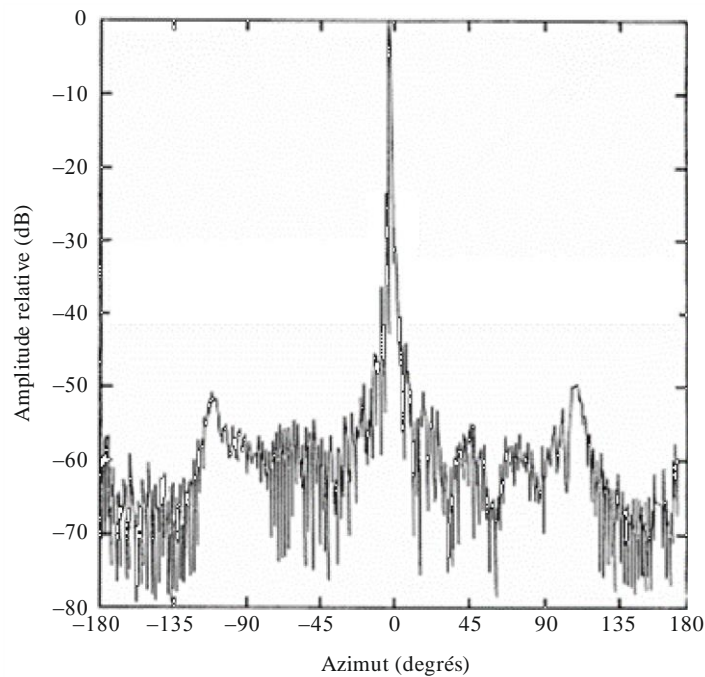


M.1851-1 8

Source: Statistical Characteristics of Gain and Mutual Gain of Radar Antennas, Project No. SF 010 204, Task 5727, Department of the Navy, 15 septembre 1963.

FIGURE 19

Diagramme d'antenne radar Doppler pour un radar météorologique, 25 dB pour le premier lobe latéral et 60 dB pour le rapport avant/arrière



M.1851-1 9

Source: USA Federal Meteorological Handbook No. 11, décembre 2005, Part B, FCM-H11B-2005.

7 Diagrammes d'antennes réseau à commande de phase

On peut utiliser l'équation suivante pour calculer le diagramme normalisé d'une antenne réseau rectiligne uniforme:

$$g(\theta) = f(\theta) \cdot \frac{1}{N} |AF(\theta)|^2 \quad (20)$$

où:

g : diagramme de gain normalisé d'antenne réseau rectiligne uniforme

f : diagramme de gain normalisé des éléments rayonnants élémentaires insérés dans l'antenne réseau rectiligne uniforme

N : nombre d'éléments rayonnants élémentaires

AF : facteur d'antenne réseau rectiligne uniforme; Ψ (radians):

$$AF(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \quad (21)$$

avec:

$$\Psi = 2\pi(d/\lambda)(\sin(\theta) - \sin(\omega)) \quad (22)$$

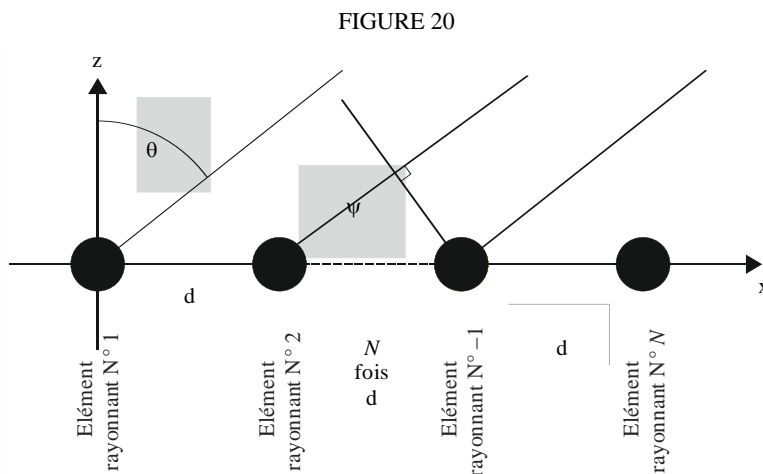
où:

d : espacement régulier entre les éléments rayonnants élémentaires uniformes

λ : longueur d'onde à la fréquence considérée

ω : angle d'orientation du faisceau à commande électronique

θ : angle hors axe.



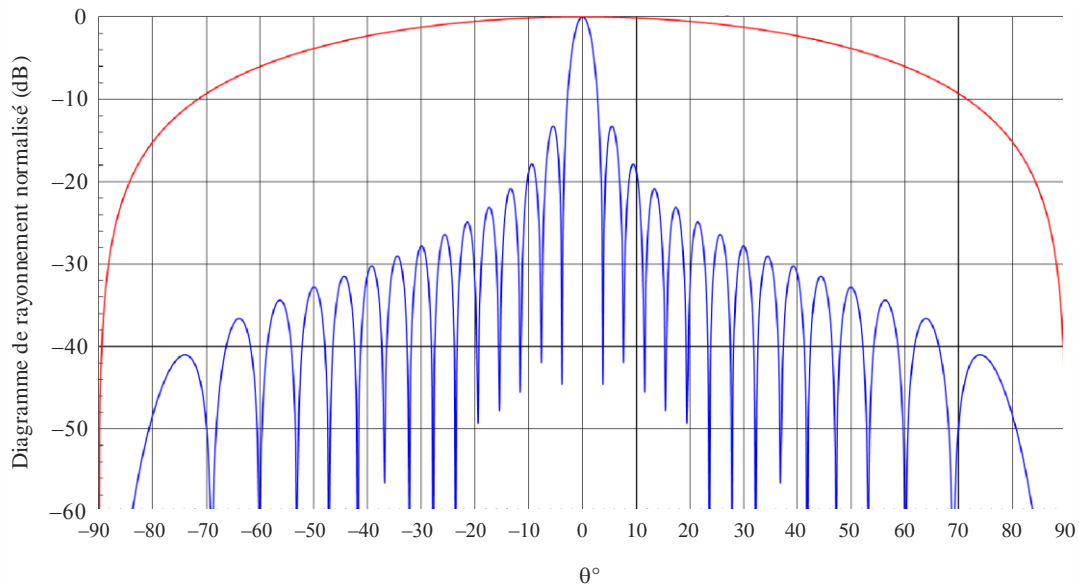
M.1851-20

La nature spécifique des antennes réseau à commande de phase permet de commander électroniquement l'orientation du lobe principal du diagramme d'antenne dans une plage de $\pm 90^\circ$ par rapport à l'axe de visée de l'antenne mécanique. Dans le cas de grands angles de balayage ω , il convient de tenir compte des effets spécifiques liés aux lobes latéraux dans les diagrammes d'antenne, à savoir un élargissement important du lobe principal et une perte de symétrie (voir la Fig. 22).

De fait, la valeur maximale du lobe principal décroît en $\cos(\omega)$ puis en fonction du diagramme des éléments rayonnants élémentaires du réseau. Il en résulte un faisceau principal élargi, un affaiblissement du gain maximal et, par conséquent, une augmentation du niveau des lobes latéraux. Pour une valeur de ω comprise entre $\pm 60^\circ$ et $\pm 90^\circ$ par rapport à l'axe de visée de l'antenne mécanique, le diagramme résultant est tellement perturbé qu'il n'est plus utilisable (voir la Fig. 24). Les valeurs pratiques de ω se situent entre 0° et $\pm 60^\circ$ par rapport à l'axe de visée de l'antenne mécanique. En outre, si le pas du réseau est supérieur à $\lambda/2$ pour les éléments rayonnants élémentaires du réseau, les lobes de périodicité liés au lobe principal pourraient même apparaître pour une valeur de ω inférieure à $\pm 60^\circ$ par rapport à l'axe de visée de l'antenne mécanique (voir la Fig. 23). Et même si le pas du réseau est de $\lambda/2$ pour les éléments rayonnants élémentaires du réseau, les lobes latéraux des lobes de périodicité liés au lobe principal, situés à -90° et $+90^\circ$ par rapport à l'axe de visée de l'antenne mécanique, perturbent le diagramme de l'antenne réseau (voir la Fig. 24).

FIGURE 21

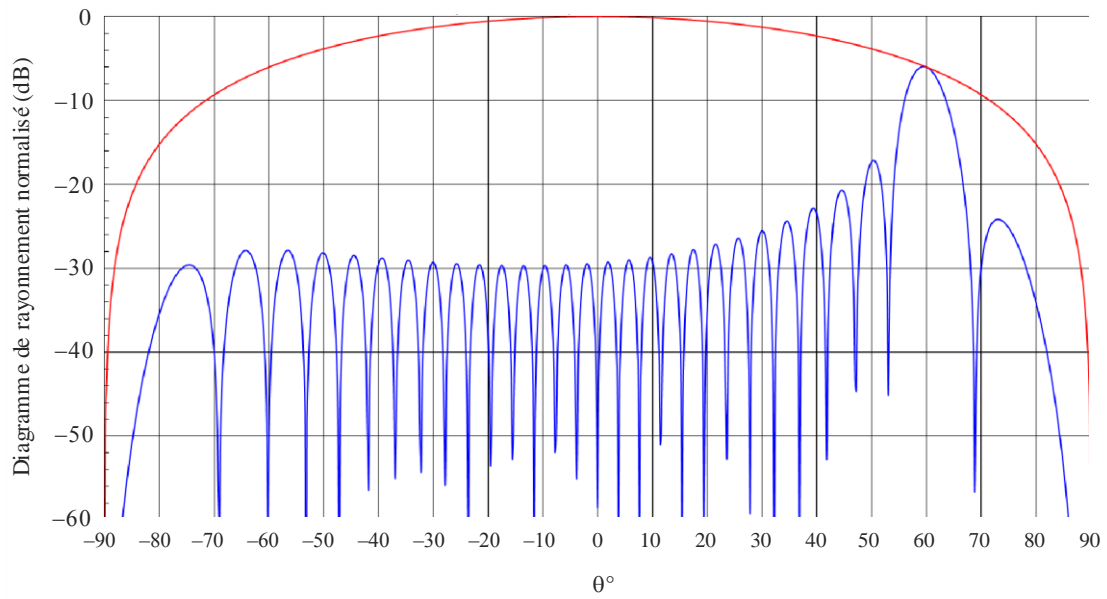
Diagramme de rayonnement théorique d'une antenne réseau rectiligne uniforme comportant 30 éléments rayonnants avec un pas de $\lambda/2$ (courbe en bleu) et diagramme de rayonnement en \cos^2 (courbe en rouge) pour une orientation dans l'axe de visée



M.1851-21

FIGURE 22

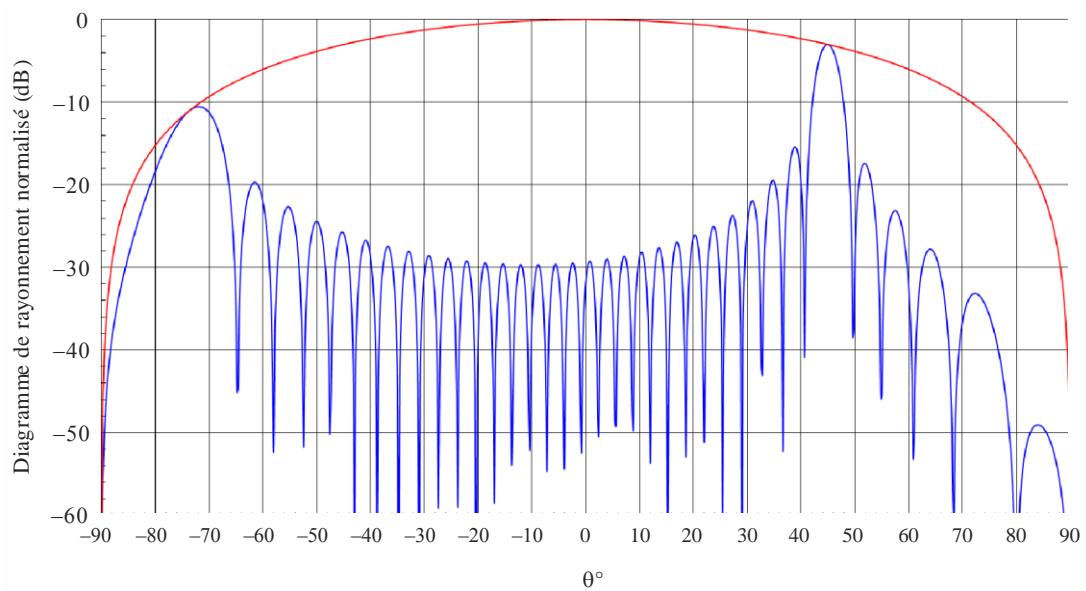
Diagramme de rayonnement théorique d'une antenne réseau rectiligne uniforme comportant 30 éléments rayonnants avec un pas de $\lambda/2$ (courbe en bleu) et diagramme de rayonnement en \cos^2 (courbe en rouge) pour une orientation à 60°



M.1851-22

FIGURE 23

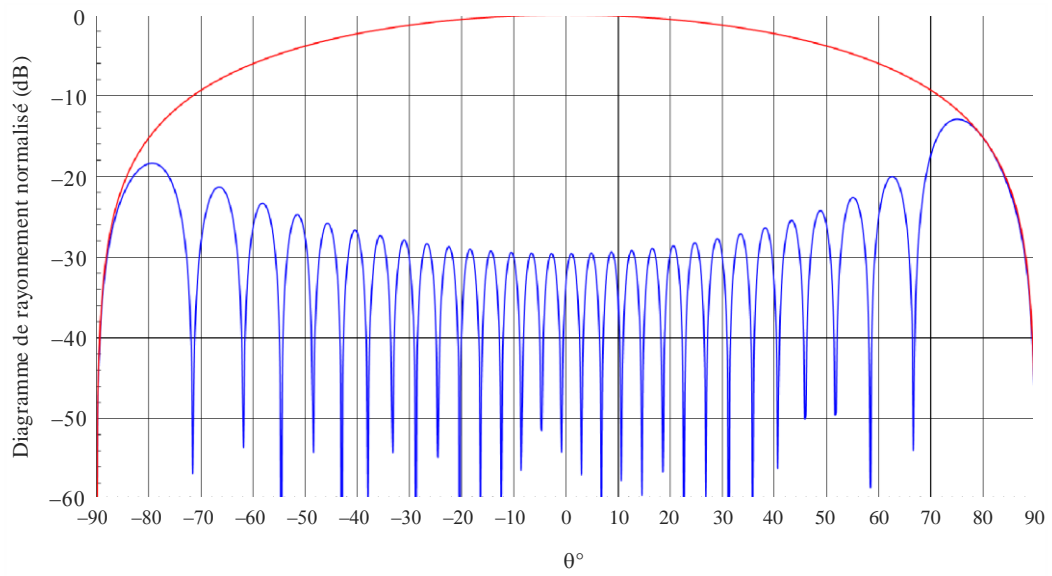
Diagramme de rayonnement théorique d'une antenne réseau rectiligne uniforme comportant 30 éléments rayonnants avec un pas de $0,6\lambda$ (courbe en bleu) et diagramme de rayonnement en \cos^2 (courbe en rouge) pour une orientation à 45°



M.1851-23

FIGURE 24

Diagramme de rayonnement théorique d'une antenne réseau rectiligne uniforme comportant 30 éléments rayonnants avec un pas de $\lambda/2$ (courbe en bleu) et diagramme de rayonnement en \cos^2 (courbe en rouge) pour une orientation à 80°



M.1851-24

