

## RECOMMANDATION UIT-R F.1336\*

**DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT DE RÉFÉRENCE DES ANTENNES ÉQUIDIRECTIVES  
ET AUTRES ANTENNES DES SYSTÈMES DU TYPE POINT À MULTIPPOINT,  
À UTILISER POUR LES ÉTUDES DE PARTAGE**

(Question UIT-R 202/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, pour les études de coordination et pour l'évaluation de brouillages mutuels entre faisceaux hertziens du type point à multipoint et entre stations appartenant à de tels systèmes et stations des services de radiocommunication spatiale partageant la même bande de fréquences, il peut être nécessaire d'utiliser des diagrammes de rayonnement de référence pour les antennes de faisceaux hertziens;
- b) que, pour les études susmentionnées, des diagrammes de rayonnement fondés sur le niveau dépassé par un faible pourcentage des crêtes de lobe latéral peuvent être appropriés;
- c) que les diagrammes de lobes latéraux d'antennes de tailles différentes sont fortement influencés par la directivité de l'antenne et par le rapport entre le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde utilisée;
- d) que des diagrammes de rayonnement de référence sont nécessaires dans les cas où l'on ne connaît pas le diagramme de rayonnement effectif;
- e) que, pour de grands angles, la possibilité de réflexions locales par le sol doit être prise en considération;
- f) que l'utilisation d'antennes ayant les meilleurs diagrammes de rayonnement possibles permettra l'utilisation la plus efficace du spectre radioélectrique,

*recommande*

**1** qu'en l'absence d'informations particulières concernant le diagramme de rayonnement de l'antenne de faisceaux hertziens du type point à multipoint dont il s'agit (Note 1), le diagramme de rayonnement de référence décrit ci-après soit utilisé pour:

**1.1** l'évaluation du brouillage entre faisceaux hertziens en visibilité directe du type point à multipoint;

**1.2** les études de coordination et l'évaluation du brouillage entre stations de faisceaux hertziens en visibilité directe du type point à multipoint et d'autres services partageant la même bande de fréquences;

**2** qu'il convient d'adopter les diagrammes de rayonnement de référence suivants pour les fréquences comprises entre 1 et 3 GHz (Note 2);

**2.1** dans le cas où une station utilise une antenne à diagramme équidirectif situé dans le plan horizontal ou au voisinage de ce plan, il convient d'appliquer les formules suivantes pour les angles d'élévation compris entre 0° et 90° (voir l'Annexe 1 et la Note 3):

$$G(\theta) = \max\{G_1(\theta), G_2(\theta)\}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 (\theta/\varphi_3)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[ \left( \max \{ \theta/\varphi_3, 1 \} \right)^{-1,5} + k \right]$$

où:

$G(\theta)$ : gain par rapport à une antenne isotrope (dBi)

$G_0$ : gain maximum dans le plan horizontal ou au voisinage de ce plan (dBi)

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 7, 8, 10 et 11 des radiocommunications

$\theta$ : angle d'élévation par rapport à l'angle correspondant au gain maximal (degrés)

$\varphi_3$ : ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB dans le plan vertical (degrés):

$$\varphi_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818}$$

avec:

$$\alpha = \frac{10^{0,1 G_0} + 172,4}{191,0}$$

$k$ : paramètre tenant compte de l'augmentation du niveau des lobes latéraux au-dessus de la valeur attendue pour une antenne idéale

**2.1.1** en cas d'utilisation d'antennes typiques, le paramètre  $k$  doit être égal à 1,5 (Note 4);

**2.1.2** dans le cas d'antennes ayant des caractéristiques améliorées en matière de lobes latéraux, le paramètre  $k$  doit avoir une valeur nulle;

**2.2** dans le cas d'une antenne de coût modique à faible gain, avec symétrie circulaire par rapport à l'ouverture de faisceau à 3 dB et un gain inférieur à 20 dBi environ, il convient d'utiliser les formules suivantes (voir l'Annexe 2 et la Note 5):

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{pour } 0 \leq \theta < 1,078 \varphi_3 \\ G_0 - 14 & \text{pour } 1,078 \varphi_3 \leq \theta < \varphi_1 \\ G_0 - 14 - 32 \log (\theta / \varphi_1) & \text{pour } \varphi_1 \leq \theta < \varphi_2 \\ -8 & \text{pour } \varphi_2 \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

où:

$G(\theta)$ : gain par rapport à une antenne isotrope (dBi)

$G_0$ : gain de l'antenne dans le lobe principal (dBi)

$\theta$ : angle hors axe (degrés)

$\varphi_3$ : ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB de l'abonné (degrés)

$$= \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1 G_0}}$$

$\varphi_1 = 1,9 \varphi_3$  (degrés)

$\varphi_2 = \varphi_1 \times 10^{(G_0 - 6)/32}$  (degrés);

**3** que des études soient poursuivies afin d'améliorer la définition des enveloppes des diagrammes de rayonnement des antennes. Cela facilitera le partage des fréquences entre services et améliorera l'utilisation du spectre;

**4** que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la présente Recommandation:

NOTE 1 – Il est essentiel de tout mettre en œuvre pour utiliser le diagramme de rayonnement d'antenne effectif pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage.

NOTE 2 – Il convient d'élaborer des diagrammes de référence pour les antennes utilisées dans les bandes de fréquences supérieures à 3 GHz. Il convient également d'élaborer des diagrammes de rayonnement de référence pour d'autres antennes susceptibles d'être utilisées dans les stations centrales des systèmes du type point à multipoint.

NOTE 3 – Le diagramme de rayonnement de référence spécifié au § 2.1 du *recommande* s'applique principalement dans les cas où le gain maximal dans le plan horizontal est compris entre 8 et 13 dBi. Un complément d'étude est nécessaire pour déterminer l'intervalle complet dans lequel les équations sont applicables.

NOTE 4 – Le diagramme de rayonnement de référence spécifié pour les antennes équidirectives et les antennes sectorielles au § A.2.1.2.2.2.3 de la Résolution 46 (CMR-95) de la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) est décrit par:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{pour } 0 \leq \theta < \varphi_3 \\ G_0 - 12 - 10 \log (\theta / \varphi_3) & \text{pour } \varphi_3 \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

Les paramètres sont ceux dont on trouve la définition au § 2.1 du *recommande*.

La Résolution 46 (CMR-95) et l'Annexe 1 à l'Appendice S5 (CMR-95) indiquent que ce diagramme d'antenne est provisoire et que les études se poursuivent au sein de l'UIT-R.

NOTE 5 – Le diagramme de rayonnement de référence spécifié au § 2.2 du *recommande* s'applique principalement dans les cas où le gain maximal est inférieur ou égal à 20 dBi et où la Recommandation UIT-R F.699 donne des résultats inadéquats. Un complément d'étude est nécessaire pour déterminer l'intervalle complet dans lequel les équations sont applicables.

## ANNEXE 1

### Diagramme de rayonnement de référence pour antennes équidirectives utilisées dans les faisceaux hertziens du type point à multipoint

#### 1 Introduction

On utilise souvent une antenne équidirective pour émettre et recevoir des signaux dans les stations centrales des faisceaux hertziens du type point à multipoint. Dans les études sur le partage entre des faisceaux hertziens de ce type et des systèmes des services spatiaux dans les bandes des 2 GHz, on a utilisé le diagramme de rayonnement de référence décrit ci-après.

#### 2 Analyse

Le diagramme de rayonnement de référence repose sur les hypothèses suivantes en ce qui concerne l'antenne équidirective:

- l'antenne est un réseau linéaire composé de  $n$  éléments qui rayonne en mode transversal;
- les éléments du réseau sont, par hypothèse, des doublets;
- l'espacement des éléments est de  $3\lambda/4$ .

On a la relation suivante entre l'ouverture de faisceau à 3 dB,  $\varphi_3$ , du réseau d'antennes dans le plan vertical et la directivité  $D$ :

$$D = 10 \log \left[ 191,0 \sqrt{0,818 + 1/\varphi_3} - 172,4 \right] \quad \text{dBi} \quad (1)$$

On peut résoudre l'équation (1) pour  $\varphi_3$  quand la directivité est connue:

$$\varphi_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818} \quad (2a)$$

avec:

$$\alpha = \frac{10^{0,1D} + 172,4}{191,0} \quad (2b)$$

Pour établir la relation entre la directivité et l'ouverture de faisceau à 3 dB dans le plan vertical, on a admis par hypothèse que l'expression suivante donne une bonne approximation du diagramme de rayonnement dans le plan vertical:

$$f(\theta) = \cos^m \theta$$

où  $m$  est un paramètre arbitraire qui relie l'ouverture de faisceau à 3 dB et le diagramme de rayonnement dans le plan vertical. En se servant de cette approximation, on a obtenu la directivité en intégrant le diagramme dans les plans vertical et azimutal.

L'intensité du champ à grande distance d'un réseau d'antennes linéaire est donné par l'expression:

$$E_T(\theta) = E_e(\theta) \cdot AF(\theta) \quad (3)$$

où:

$E_T(\theta)$ : champ  $E$  total pour un angle  $\theta$  dans un plan normal à l'axe du réseau

$E_e(\theta)$ : champ  $E$  pour un angle  $\theta$  dans un plan normal à l'axe du réseau et causé par un élément unique du réseau

$AF(\theta)$ : fonction caractéristique du réseau pour un angle  $\theta$  dans un plan normal à l'axe du réseau.

Le champ  $E$  normalisé d'un élément doublet a pour expression:

$$E_e(\theta) = \cos \theta \quad (4)$$

et la fonction caractéristique du réseau:

$$AF_N = \frac{1}{N} \left[ \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \right] \quad (5)$$

où:

$N$ : nombre d'éléments du réseau

$$\frac{\psi}{2} = \frac{1}{2} \left[ 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \right]$$

$d$ : espacement des éléments rayonnants

$\lambda$ : longueur d'onde.

On a procédé comme suit pour faire l'estimation du nombre d'éléments,  $N$ , du réseau d'antennes. On admet par hypothèse que le gain maximal du réseau est identique à sa directivité.

- Connaissant le gain maximal de l'antenne équidirective dans le plan vertical, on calcule l'ouverture de faisceau à 3 dB,  $\varphi_3$ , à l'aide des équations (2a) et (2b).
- On ne tient pas compte de la petite diminution du gain hors axe due à l'élément doublet et on note que la fonction caractéristique du réseau,  $AF_N$ , est égale à 0,707 (−3 dB) pour  $N\psi/2 = 1,3916$ .
- On calcule ensuite  $N$ , qui est la valeur entière suivante:

$$N = \text{Valeur entière} \left[ \frac{2 \times 1,3916}{2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\left(\frac{\varphi_3}{2}\right)} \right] \quad (6)$$

La discrimination hors axe normalisée,  $\Delta D$ , s'exprime par:

$$\Delta D = 20 \log \left[ |AF_N \times \cos \theta| \right] \quad \text{dB} \quad (7)$$

On a calculé l'équation (7) en fonction de l'angle hors axe (c'est-à-dire l'angle d'élévation) pour plusieurs valeurs du gain maximal. Entre 8 et 13 dBi, on a constaté que les équations suivantes donnent une bonne approximation de l'enveloppe du diagramme de rayonnement dans le plan vertical:

$$G(\theta) = \max\{G_1(\theta), G_2(\theta)\}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 (\theta/\varphi_3)^2 \quad \text{dBi} \quad (8a)$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[ \left( \max \{ \theta/\varphi_3, 1 \} \right)^{-1,5} + k \right] \quad \text{dBi} \quad (8b)$$

où  $k$  est le paramètre tenant compte de l'augmentation du niveau des lobes latéraux au-dessus de la valeur attendue pour une antenne idéale.

Les Fig. 1 à 4 donnent une comparaison entre les enveloppes de rayonnement de référence et les diagrammes d'antenne théoriques fournis par l'équation (8), pour des gains compris entre 8 et 13 dBi, et pour  $k = 0$ . Les Fig. 5 à 8 donnent une comparaison entre des enveloppes de rayonnement de référence et des diagrammes d'antenne réels mesurés, pour  $k = 0$ . Les Fig. 7 et 8 montrent que le niveau des lobes latéraux se situe à environ 15 dB, ou plus, au-dessous du niveau du lobe principal, compte tenu d'un petit pourcentage de crêtes des lobes latéraux qui pourraient dépasser cette valeur. Il faut signaler toutefois que, dans les installations réelles en service, le niveau des lobes latéraux pourrait s'élever jusqu'à environ 10 dB au-dessous du niveau du lobe principal, sous l'effet d'un certain nombre de facteurs d'ordre pratique tels que les suivants: utilisation d'un système électrique d'inclinaison vers le bas, dégradations du diagramme en bordure de bande et manque d'uniformité dans la production. Le facteur  $k$  introduit dans l'équation (8) a pour fonction d'exprimer

cette variation des niveaux des lobes latéraux. Les Fig. 9 et 10 donnent une comparaison entre une antenne à gain de 10 et 13 dBi, respectivement, à 2,4 GHz, avec l'enveloppe du diagramme de rayonnement de référence, pour  $k = 0,5$ . Avec  $k = 0,5$ , on obtient des niveaux de lobes latéraux se situant à 15 dB environ au-dessous de la crête du lobe principal. Pour tenir compte d'autres augmentations des niveaux des lobes latéraux se produisant dans les installations en service sur le terrain, il faut utiliser pour des antennes typiques un facteur  $k = 1,5$ , auquel correspondent des niveaux de lobes latéraux inférieurs d'environ 10 dB au niveau du lobe principal. Enfin, les Fig. 11 et 12 montrent comment les valeurs de  $k$  influencent les diagrammes dans le plan vertical.

FIGURE 1  
**Diagramme de rayonnement normalisé d'un réseau linéaire d'éléments doublets comparé à l'enveloppe approximative du diagramme de rayonnement**  
 $G_0 = 10 \text{ dBi}, k = 0$

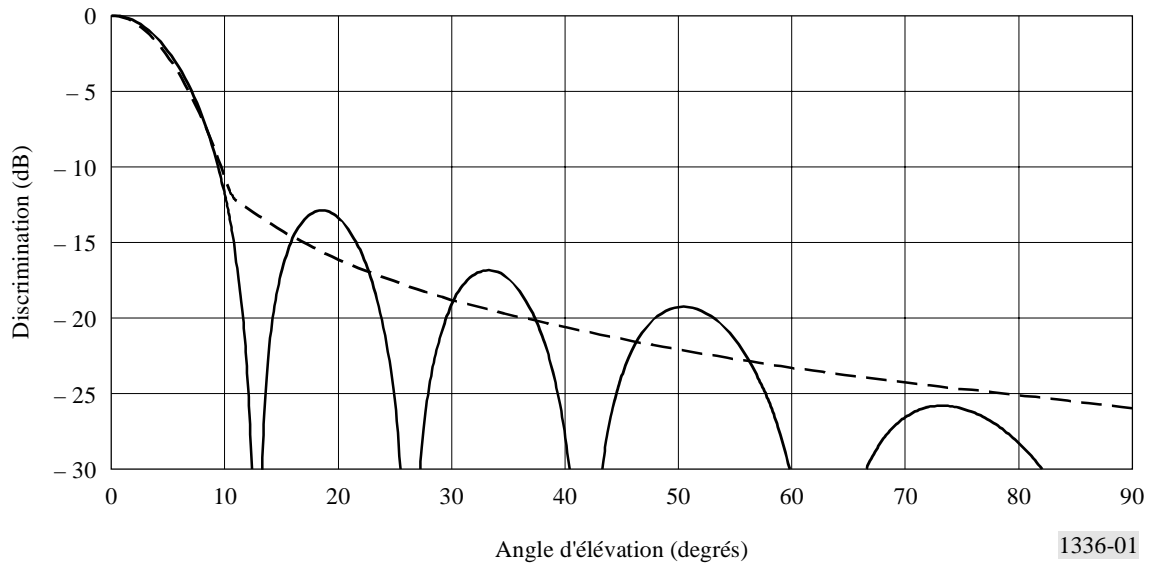


FIGURE 2  
**Diagramme de rayonnement normalisé d'un réseau linéaire d'éléments doublets comparé à l'enveloppe approximative du diagramme de rayonnement**  
 $G_0 = 11 \text{ dBi}, k = 0$

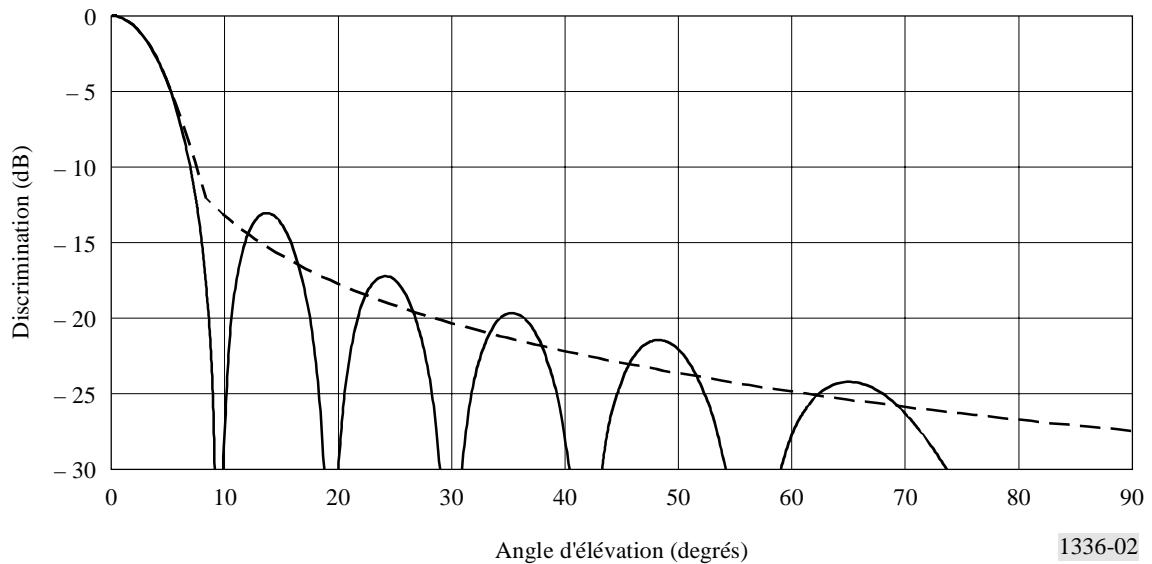
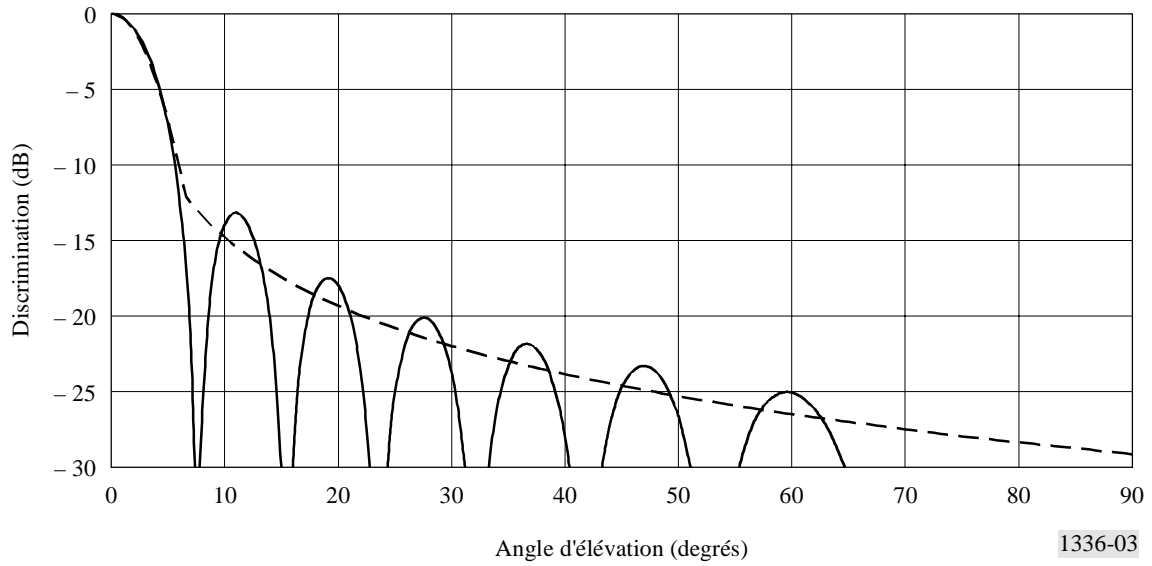


FIGURE 3

Diagramme de rayonnement normalisé d'un réseau linéaire d'éléments doublets comparé à l'enveloppe approximative du diagramme de rayonnement

$$G_0 = 12 \text{ dBi}, k = 0$$

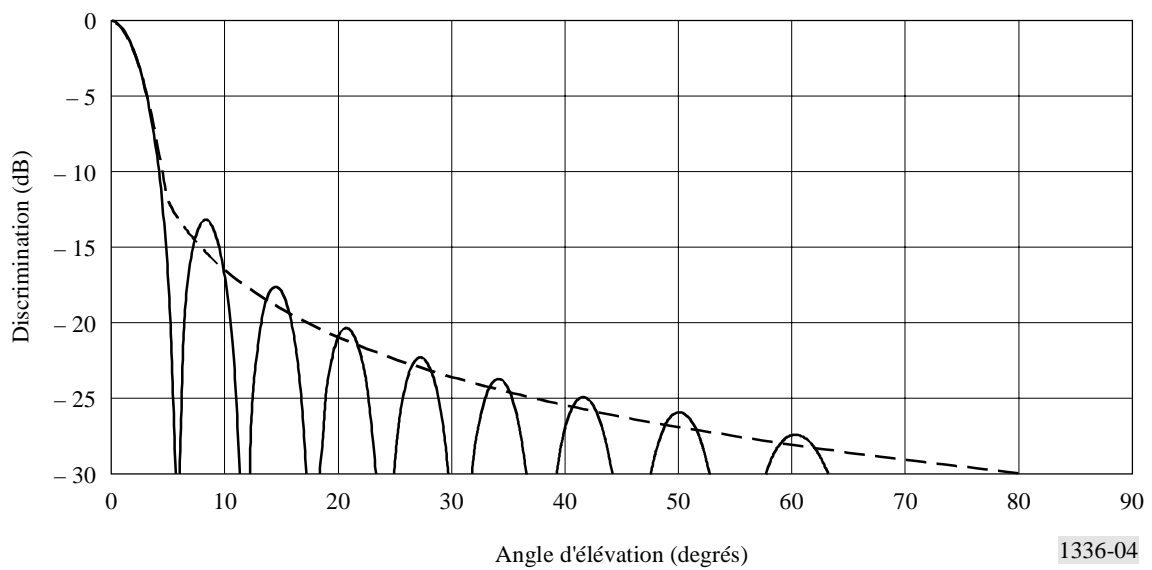


1336-03

FIGURE 4

Diagramme de rayonnement normalisé d'un réseau linéaire d'éléments doublets comparé à l'enveloppe approximative du diagramme de rayonnement

$$G_0 = 13 \text{ dBi}, k = 0$$



1336-04

FIGURE 5

Comparaison entre le diagramme mesuré et le diagramme de rayonnement de référence pour une antenne équidirective avec un gain de 11 dBi et fonctionnant dans la bande 928-944 MHz,  $k = 0$

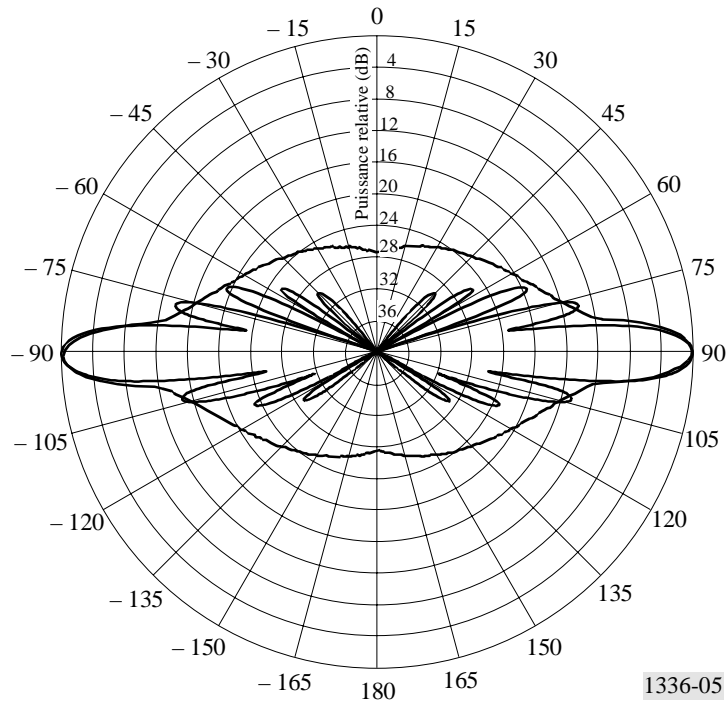


FIGURE 6

Comparaison entre le diagramme mesuré et le diagramme de rayonnement de référence pour une antenne équidirective avec un gain de 8 dBi et fonctionnant dans la bande 1 850-1 990 MHz,  $k = 0$

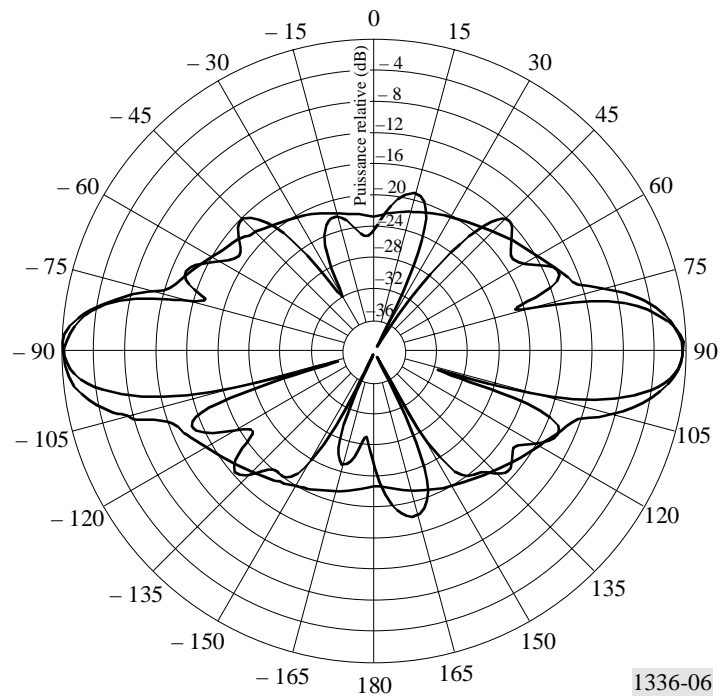


FIGURE 7

Comparaison entre le diagramme mesuré et l'enveloppe du diagramme de rayonnement de référence avec  $k = 0$  pour une antenne équidirective avec un gain de 10 dBi et fonctionnant dans la bande des 1,4 GHz

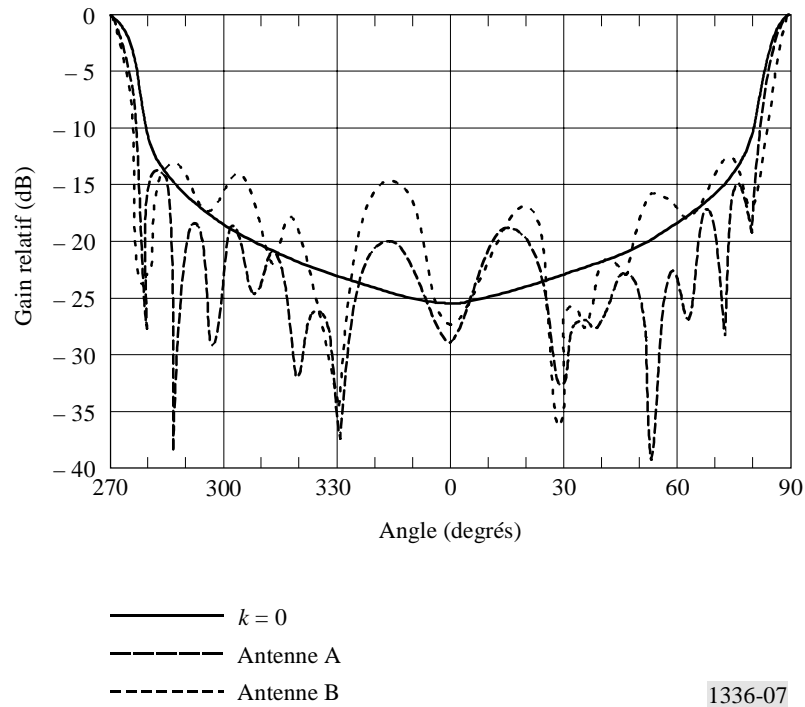


FIGURE 8

Comparaison entre le diagramme mesuré et l'enveloppe du diagramme de rayonnement de référence avec  $k = 0$  pour une antenne équidirective avec un gain de 13 dBi et fonctionnant dans la bande des 1,4 GHz

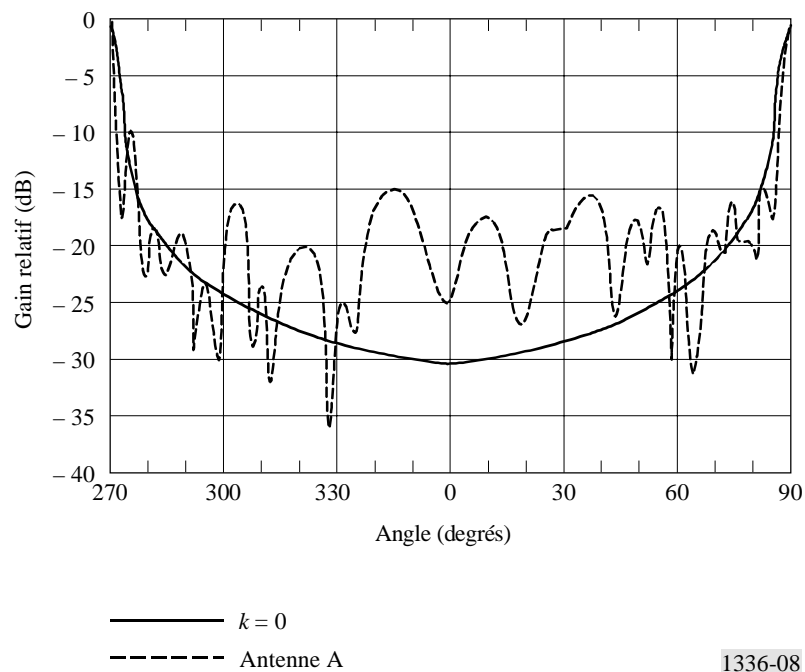




FIGURE 9

Comparaison entre le diagramme mesuré et l'enveloppe du diagramme de rayonnement de référence avec  $k = 0,5$  pour une antenne équidirective avec un gain de 10 dBi et fonctionnant dans la bande des 2,4 GHz

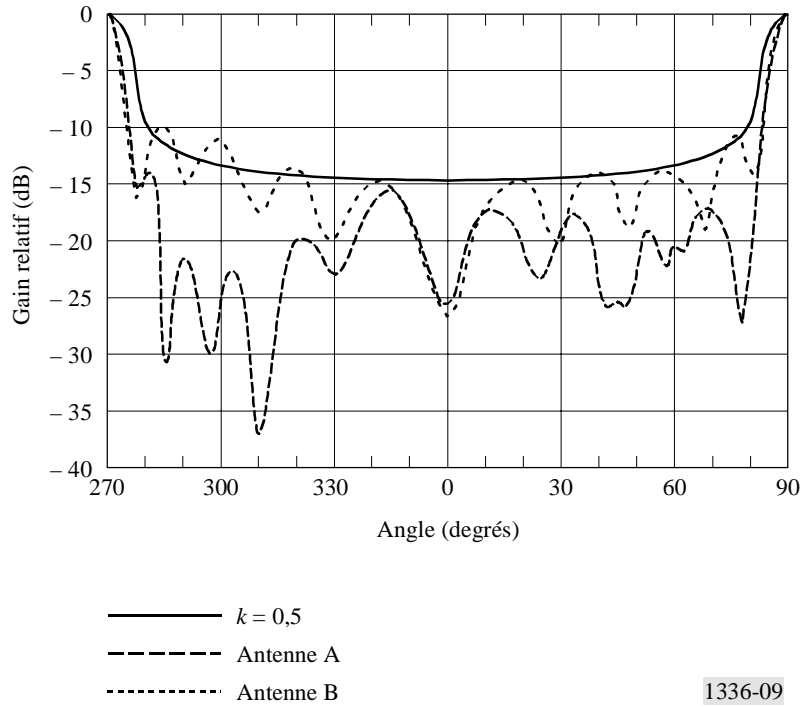


FIGURE 10

Comparaison entre le diagramme mesuré et l'enveloppe du diagramme de rayonnement de référence avec  $k = 0,5$  pour une antenne équidirective avec un gain de 13 dBi et fonctionnant dans la bande des 2,4 GHz

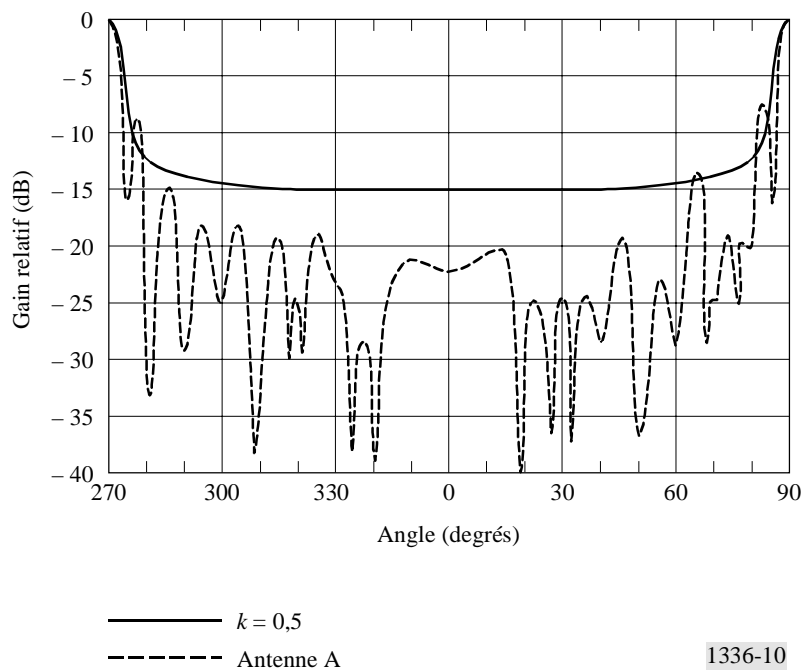
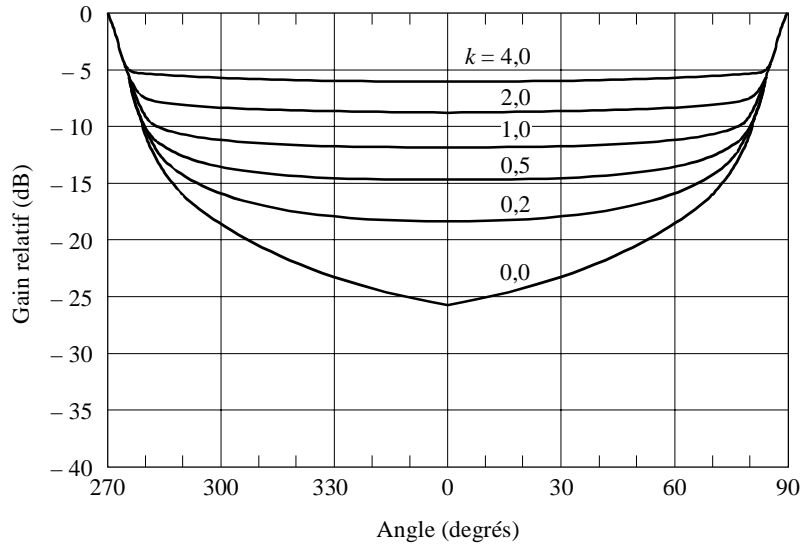


FIGURE 11

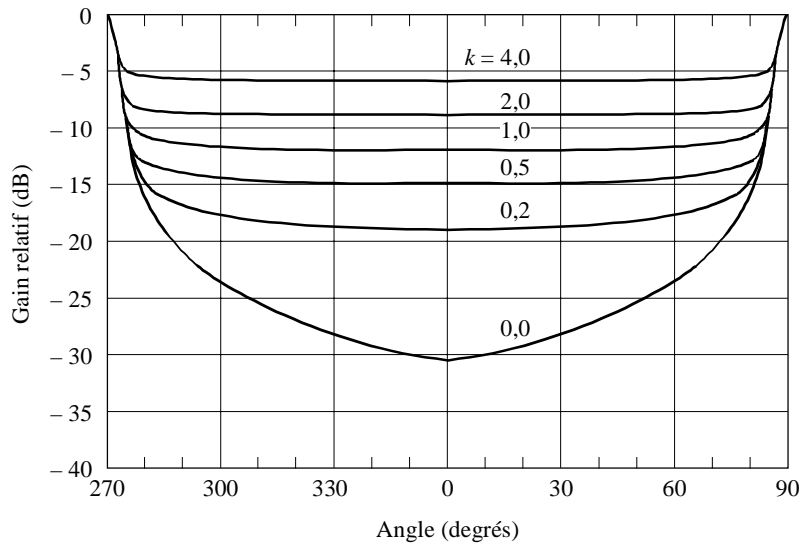
Enveloppes des diagrammes de rayonnement de référence pour plusieurs valeurs de  $k$  dans le cas d'une antenne équidirective avec un gain de 10 dBi



1336-11

FIGURE 12

Enveloppes des diagrammes de rayonnement de référence pour plusieurs valeurs de  $k$  dans le cas d'une antenne équidirective avec un gain de 13 dBi



1336-12

### 3 Résumé, conclusions et poursuite des études

On a présenté un diagramme de rayonnement de référence pour antennes équidirectives avec gain compris entre 8 et 13 dBi. Le diagramme est spécifié sur la base d'une étude théorique portant sur le diagramme de rayonnement d'un réseau colinéaire de doublets. On a montré que le diagramme proposé représente une bonne approximation des diagrammes théoriques et des diagrammes mesurés dans l'intervalle compris entre 8 et 13 dBi. Les études devront être poursuivies pour déterminer l'intervalle de gains dans lequel le diagramme de rayonnement de référence est adéquat, notamment pour les antennes fonctionnant dans les bandes de fréquences supérieures à 3 GHz.

## ANNEXE 2

### Diagramme de rayonnement de référence pour les antennes d'abonné à faible gain et à symétrie circulaire utilisées dans les faisceaux hertziens du type point à multipoint

#### 1 Introduction

On utilise fréquemment une antenne à gain relativement faible pour émettre et recevoir les signaux dans les stations périphériques ou dans des secteurs des stations centrales faisant partie de faisceaux hertziens du type point à multipoint. Ces antennes peuvent avoir un gain de l'ordre de 20 dBi, ou moins. On a constaté que si on utilise le diagramme de rayonnement de référence spécifié dans la Recommandation UIT-R F.699 pour ces antennes à gain relativement faible, on obtient une surestimation du gain pour des angles hors axe relativement grands. Il en résulte que les brouillages mutuels avec d'autres systèmes, pour ces angles hors axe, seront sans doute très surestimés si on emploie le diagramme de la Recommandation UIT-R F.699.

#### 2 Analyse

Le diagramme de rayonnement de référence pour une antenne d'abonné est établi sur la base des hypothèses suivantes:

- la directivité de l'antenne est inférieure à environ 20 dBi;
- le diagramme d'antenne présente une symétrie circulaire par rapport au lobe principal;
- le gain dans le lobe principal est numériquement égal à la directivité.

Le diagramme de rayonnement de référence proposé est défini par les expressions suivantes:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{pour } 0 \leq \theta < 1,078 \varphi_3 & (9) \\ G_0 - 14 & \text{pour } 1,078 \varphi_3 \leq \theta < \varphi_1 & (10) \\ G_0 - 14 - 32 \log (\theta / \varphi_1) & \text{pour } \varphi_1 \leq \theta < \varphi_2 & (11) \\ -8 & \text{pour } \varphi_2 \leq \theta \leq 180^\circ & (12) \end{cases}$$

où:

$G(\theta)$ : gain par rapport à une antenne isotrope (dBi)

$G_0$ : gain maximal sur l'axe (dBi)

$G_1$ : gain minimal hors axe (dBi)

$\theta$ : angle hors axe (degrés)

$\varphi_3$ : ouverture de faisceau à 3 dB (degrés)

$$= \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1 G_0}}$$

$\varphi_1 = 1,9 \varphi_3$  (degrés)

$\varphi_2 = \varphi_1 \times 10^{(G_0 - 6)/32}$  (degrés).

### 3 Résumé et conclusions

On a présenté un diagramme de rayonnement de référence pour antennes d'abonné à faible gain, inférieur ou égal à 20 dBi. Le diagramme a été élaboré à partir d'une quantité limitée de données relatives aux diagrammes de rayonnement d'antennes-réseau plates dont on envisage l'utilisation dans des systèmes du type point à multipoint pour accès local, exploités dans les bandes des 2 GHz. On a démontré que le diagramme de référence proposé représente le diagramme réel de façon plus précise que celui spécifié dans la Recommandation UIT-R F.699. Il est nécessaire de poursuivre les études pour déterminer l'intervalle de valeurs de gains dans lequel le diagramme de rayonnement de référence donne des résultats satisfaisants et pour comparer ce diagramme de référence avec des diagrammes mesurés.

---