

RECOMMANDATION UIT-R P.1412

**DONNÉES DE PROPAGATION À UTILISER POUR ÉVALUER LA NÉCESSITÉ
DE LA COORDINATION ENTRE STATIONS TERRIENNES FONCTIONNANT
DANS DES BANDES DE FRÉQUENCES ATTRIBUÉES
POUR UNE UTILISATION BIDIRECTIONNELLE**

(1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'aux termes du Règlement des radiocommunications, certaines bandes de fréquences sont attribuées aux systèmes Terre-espace pour une utilisation bidirectionnelle;
- b) qu'il convient de tenir compte des différents trajets de propagation pour évaluer la nécessité d'une coordination entre deux stations terriennes fonctionnant en mode bidirectionnel;
- c) que des études ont été entreprises par la Commission d'études 1 des radiocommunications sur la détermination de la zone de coordination autour d'une station terrienne dans les bandes de fréquences comprises entre 0,1 GHz et 105 GHz,

recommande

1 de tenir compte des informations et des exemples donnés dans l'Annexe 1 pour examiner s'il est nécessaire d'effectuer une coordination entre stations terriennes fonctionnant dans les deux sens de transmission.

ANNEXE 1

1 Introduction

Les conditions dans lesquelles il est possible d'exploiter des stations terriennes dans des bandes de fréquences attribuées pour une utilisation bidirectionnelle posent un certain nombre de problèmes dont il convient de faire la synthèse pour démontrer que le partage est possible dans de nombreux cas. La présente Annexe montre que ce partage est possible puis analyse certaines configurations où l'exploitation de telles stations doit être examinée de plus près. L'évaluation des risques de brouillage à l'intérieur de la zone de coordination déterminée conformément aux dispositions de la Recommandation UIT-R IS.848 multipliera les possibilités d'exploitation de ces stations.

Il s'agit ici de définir une méthode simplifiée qui s'applique à des configurations géométriques représentatives et qui permette avant tout d'évaluer les conséquences de la diffusion par la pluie lors d'une coordination bidirectionnelle.

2 Scénarios de brouillage

Trois scénarios de brouillage sont examinés:

- brouillage entre deux (importantes) stations terriennes, l'émetteur et le récepteur fonctionnant chacun avec un satellite géostationnaire distinct;
- brouillage entre une station située sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et une liaison de connexion pour un satellite non OSG du service mobile par satellite (par exemple station terrienne avec une grande antenne);
- brouillage entre une station OSG et un nombre important de stations non OSG du service fixe par satellite (SFS) (petites antennes).

Pour les deux premières de ces trois configurations (antennes à gain moyen ou élevé) on peut utiliser l'approximation du faisceau étroit de l'équation radar bistatique.

Pour la troisième configuration (antenne à gain moyen ou élevé et grand nombre de petites stations terriennes avec antennes à large faisceau), on peut utiliser l'approximation du faisceau étroit pour le brouillage que le lobe principal de l'antenne à gain élevé cause au lobe latéral de l'antenne à large faisceau. Dans ce cas, on suppose que les angles d'élévation des petites stations terriennes peuvent être limités aux angles supérieurs à 40°; pour des angles d'élévation descendant jusqu'à 15°, il faudra peut-être une méthode différente, par exemple la méthode des contours auxiliaires.

3 Base de la méthode

3.1 Mode (1), propagation par temps clair

Dans le mode (1), le brouillage dans le plan du grand cercle contenant l'axe de visée sera réduit d'au moins 22 dB lorsque l'angle d'élévation de l'antenne de la station terrienne augmente et passe de 5° à au moins 40°. Pour d'autres azimuts, différents de celui de l'axe de visée, la réduction sera moins importante mais partira d'une valeur initiale plus faible du gain d'antenne dans cette direction.

3.2 Mode (2), diffusion par les hydrométéores

Pour le mode (2), les calculs sont plus complexes mais on peut penser qualitativement que le couplage sera plus faible en raison de la réduction du volume commun dans l'atmosphère résultant de l'augmentation de l'angle d'élévation de la station terrienne qui passera de 5° à au moins 40°.

La géométrie adoptée pour la méthode est illustrée à la Fig. 1 où T est l'émetteur et R le récepteur. On suppose au départ que le faisceau provenant de T est à la verticale ou presque d'une cellule de pluie isolée, située de telle façon qu'elle remplit tout le faisceau (situation du cas le plus défavorable). En appliquant la formule générale de la diffusion bistatique à un élément δV du faisceau comme indiqué à la Fig. 1, on obtient:

$$P_r / P_t = \left(G_t / 4\pi y^2 \right) \left(\eta \cdot \delta V / 4\pi x^2 \right) \left(G_r \lambda^2 / 4\pi \right) \quad (1)$$

où:

- x : distance entre δV et R
- y : distance entre δV et T
- G_t : gain d'antenne de l'émetteur
- G_r : gain d'antenne du récepteur
- η : section efficace moyenne par unité de volume
- λ : longueur d'onde;

on suppose qu'il n'y a aucun affaiblissement en dehors du faisceau provenant de T.

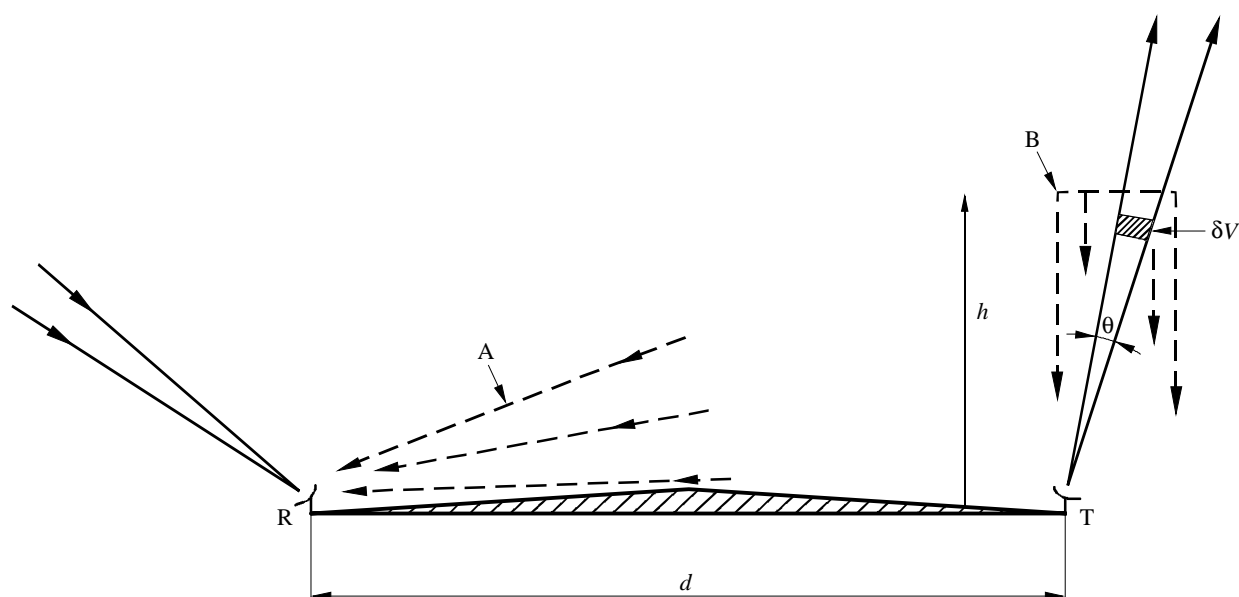
Supposons que d , distance de séparation entre T et R, soit sensiblement plus grande que la hauteur de pluie h . Dès lors, si le faisceau provenant de R est dirigé en azimut et en élévation de telle façon qu'il se trouve au moins à 45° d'une partie quelconque de la cellule de pluie dans le faisceau provenant de T, on obtient une expression simple pour le gain des lobes latéraux de R dans la direction de la pluie. Par ailleurs, la plus grande partie du volume de pluie dans le faisceau provenant de T contribuera à la diffusion (en supposant qu'il n'y a pas d'effet d'écran important du terrain) jusqu'à ce que d soit bien supérieure à, disons, 100 km. Même lorsque $d = 200$ km, 80% du volume de pluie dans le faisceau continuera d'agir en prenant pour hypothèse une hauteur de pluie h de 4 km et un modèle avec «4/3 du rayon terrestre».

En remplaçant δV par son expression en fonction de G_r , et en intégrant sur le volume total, on peut aisément démontrer que le rapport puissance reçue/puissance émise est donné par:

$$P_r / P_t \approx \left(G_r \eta \lambda^2 h \right) / 256 d^2 \quad (2)$$

pour les conditions supposées, G_r étant le gain des lobes latéraux (supposé uniforme) comme dans la Fig. 1, et le faisceau provenant de T ayant une direction verticale ou presque.

FIGURE 1
Géométrie de diffusion bidirectionnelle



A: couplage des lobes latéraux
B: cellule de pluie

1412-01

L'évaluation de l'affaiblissement supplémentaire dû à l'affaiblissement en dehors du volume commun est un problème complexe de variabilité statistique du taux de précipitation et de la taille de la cellule de pluie. Cela étant, tout en reconnaissant qu'une estimation «prudente» est nécessaire lors de la coordination, on peut poser en principe l'existence d'une cellule de pluie isolée. L'affaiblissement supplémentaire dépendra, pour une fréquence donnée, de la taille de la cellule et de son emplacement. Si elle est située de telle sorte qu'une partie appréciable se trouve entre T et R, l'affaiblissement supplémentaire peut être important. Si le centre de la cellule se trouve de l'autre côté de T par rapport à R (tout en remplissant le faisceau T), l'affaiblissement supplémentaire sera faible. On a montré qu'en raison des effets de compensation résultant de la diminution du diamètre de la cellule et de l'accroissement du taux d'affaiblissement (dB/km) au fur et à mesure que le taux de précipitation augmente, l'affaiblissement supplémentaire dépend beaucoup moins du taux de précipitation: pour des taux de précipitation compris entre 10 et 60 mm/h, il sera approximativement de 4 dB à 18 GHz, d'environ 2 dB à 12 GHz et négligeable à 4 GHz. Bien que la géométrie soit quelque peu différente, on pourrait prendre pour hypothèse les mêmes valeurs pour l'affaiblissement en dehors du volume de diffusion par la pluie. Avec cette adjonction et moyennant une légère correction pour tenir compte, le cas échéant, de l'absorption gazeuse, on peut calculer l'affaiblissement de transmission en fonction de la distance, de la fréquence et de la réflectivité (c'est-à-dire taux de précipitation). Il y a lieu de prendre pour hypothèse une valeur de 4 km pour la hauteur de pluie h , valeur qui est représentative d'un pourcentage de temps d'environ 0,01% pour des latitudes comprises entre 0° et 55° .

Pour la troisième configuration, mentionnée au § 2, on utilisera la Recommandation UIT-R P.620 comme base de calcul si l'angle d'élévation de l'antenne à large faisceau descend au-dessous de 30° .

4 Application de la méthode aux trois configurations: illustrations

4.1 Calculs de diffusion bistatique pour systèmes du SFS OSG

On a effectué des intégrations numériques en utilisant l'équation radar bistatique pour le couplage lobe principal – lobes latéraux entre deux stations fonctionnant en mode bidirectionnel. Des calculs ont été faits en supposant que l'émetteur et le récepteur avaient un gain identique et égal à 57,5 dB, le diagramme rayonnement des lobes latéraux étant donné par la formule:

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log_{10}(\varphi) \quad (3)$$

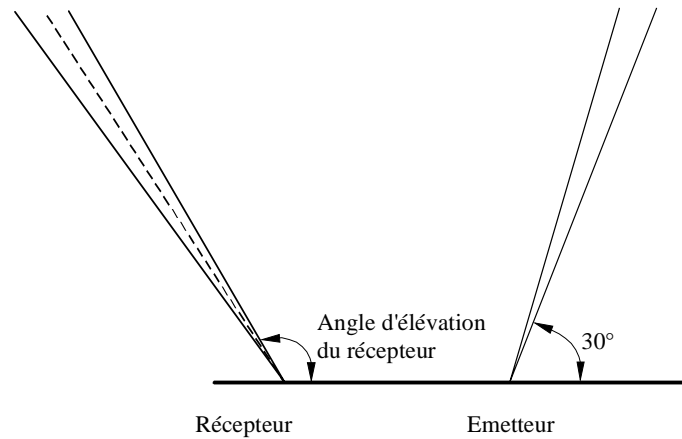
L'angle d'élévation de l'émetteur a été fixé à 30° . On a supposé que le récepteur ne pointait pas dans la direction de l'émetteur, c'est-à-dire qu'il avait un angle d'élévation de plus de 90° . La géométrie est illustrée à la Fig. 2.

Des calculs ont été faits pour une fréquence de 18 GHz et quatre taux de précipitation (2, 8, 28 et 78 mm/h), ce qui correspond au Climat F pour des pourcentages de temps de 1%, 0,1%, 0,01% et 0,001%.

La valeur de l'affaiblissement par la pluie entre les deux faisceaux a été fixée arbitrairement à 4 dB, pour une fréquence de 18 GHz, quel que soit le taux de précipitation. L'affaiblissement linéique sera vraisemblablement plus important lorsque les taux de précipitation sont élevés mais les précipitations seront peut-être plus étalées dans le temps pour des taux de précipitation plus faibles, ce qui fait que l'affaiblissement sur le trajet est similaire pour des variations importantes du taux de précipitation. Il s'agit d'une approximation brute mais utile. Les résultats sont illustrés à la Fig. 3.

FIGURE 2

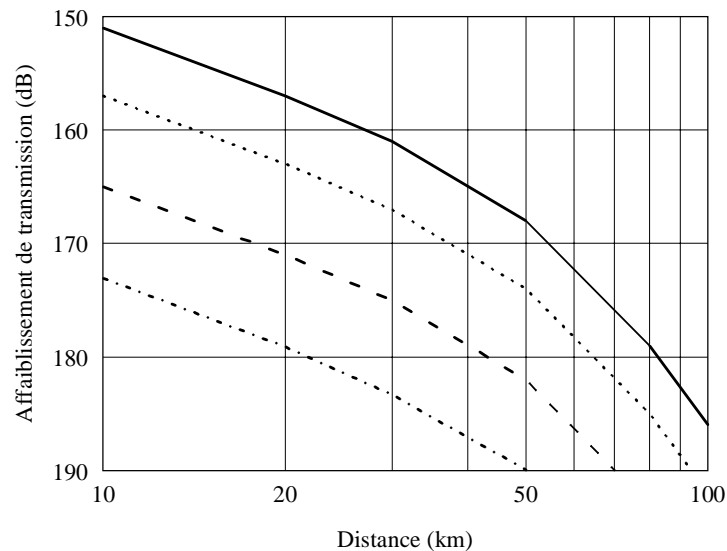
Géométrie avec un émetteur et un récepteur fixes



1412-02

FIGURE 3

Variation de l'affaiblissement de transmission en fonction de la distance



- 0,001%
- 0,01%
- - - 0,1%
- · - · 1%

Angle d'élevation de l'émetteur = 30°
 Angle d'élevation du récepteur > 90°
 Fréquence = 18 GHz

1412-03

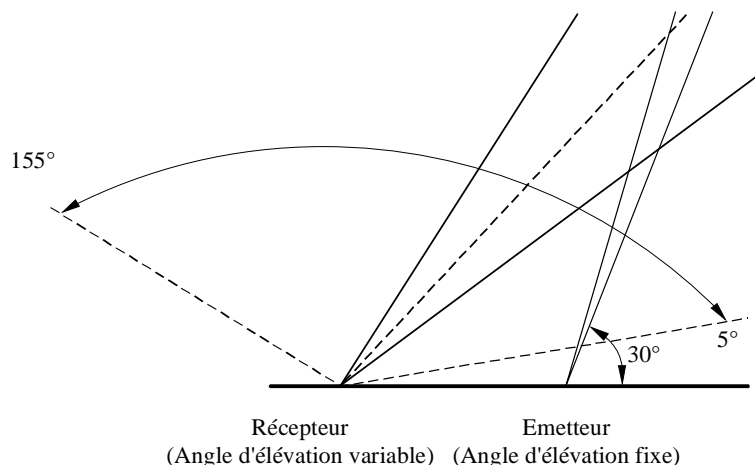
4.2 Dépendance vis-à-vis de l'angle d'élévation pour la diffusion bistatique: couplage entre un récepteur à large faisceau et un émetteur à faisceau étroit

4.2.1 Poursuite par une antenne à large faisceau pour une vaste gamme d'angles d'élévation

L'angle d'élévation de l'émetteur a été fixé à 30° et celui du récepteur se situe entre 5° et 155° comme le montre la Fig. 4.

FIGURE 4

Géométrie lorsque l'angle d'élévation de l'émetteur est fixe et celui du récepteur est variable

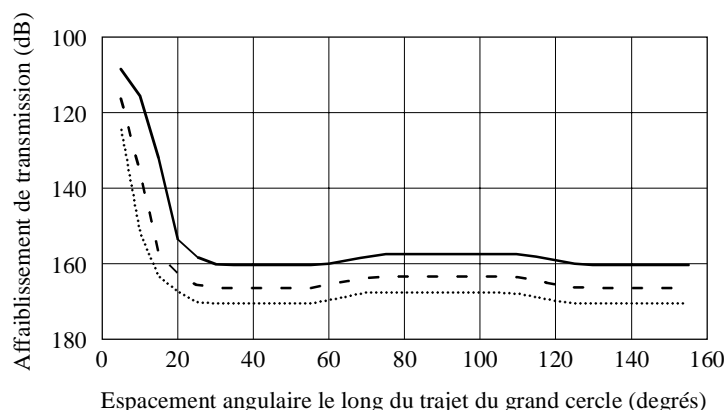


1412-04

Les valeurs de l'affaiblissement de transmission ont été calculées pour trois distances différentes entre l'emplacement de l'émetteur et celui du récepteur (voir la Fig. 5). Les résultats montrent que lorsque l'angle d'élévation du récepteur est inférieur à 30°, il y aura intersection entre les faisceaux principaux, ce qui donne un couplage élevé. Pour des angles de plus de 30°, il y aura couplage uniquement entre le lobe principal de l'émetteur et les lobes secondaires du récepteur, couplage qui est alors indépendant de l'angle d'élévation. On obtient des résultats analogues pour toutes les distances, bien qu'avec des niveaux d'affaiblissement de transmission différents.

FIGURE 5

Variation de l'affaiblissement de transmission en fonction de l'angle d'élévation d'un récepteur à large faisceau



- 10 km
- - - 20 km
- 30 km

Angle d'élévation de l'émetteur = 30°

1412-05

On a effectué d'autres calculs pour trois fréquences (5, 15 et 30 GHz), avec un angle d'élévation fixe de 30° pour l'émetteur et un angle d'élévation variant entre 0° et 60° pour le récepteur à large faisceau, en supposant l'existence d'une cellule de pluie de forte intensité de 60 mm/h dans le volume commun. Les valeurs de l'affaiblissement dans le volume commun pour chaque fréquence sont données dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Affaiblissement supposé pour chaque fréquence

Fréquence (GHz)	Affaiblissement (dB)
5	0
15	4
30	12

Les résultats sont illustrés à la Fig. 6. Ils montrent que l'affaiblissement de transmission est, en première approximation, indépendant de la fréquence. Pour une distance de séparation de 5 km entre l'émetteur et le récepteur, l'affaiblissement de transmission minimal est d'environ 98 dB. Ce résultat peut être transposé pour d'autres distances D en utilisant la relation:

$$L = 98 + 15(\log D - 0,7) \quad \text{pour } D \geq 1 \quad (4)$$

4.2.2 Poursuite par une antenne à faisceau étroit pour divers angles d'élévation

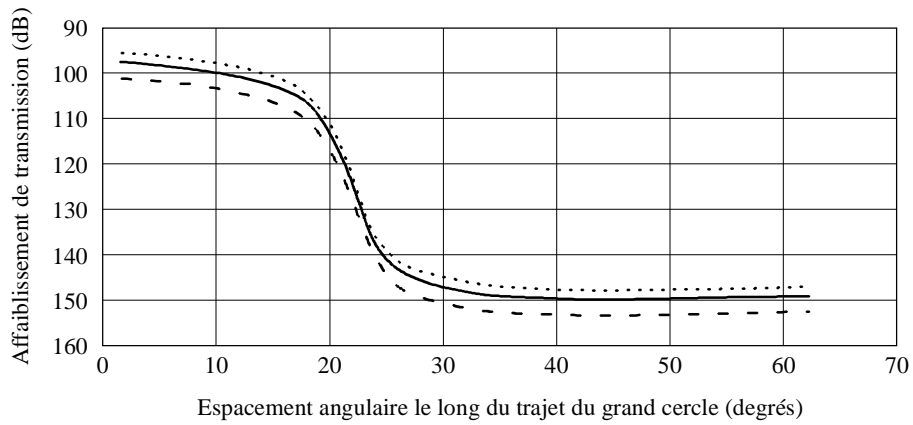
La Fig. 7 illustre la deuxième géométrie considérée, à savoir un angle d'élévation du récepteur de 30°; l'affaiblissement a été calculé pour divers angles d'élévation de l'émetteur à faisceau étroit.

Les résultats sont illustrés à la Fig. 8. Pour une distance de 10 km, le couplage entre les deux systèmes est très faible pour les angles d'élévation de l'émetteur inférieurs à 60° mais au-delà de cette valeur, le couplage augmente rapidement au fur et à mesure que le faisceau de l'émetteur entre dans le faisceau principal du récepteur. C'est ce qui se produit à une hauteur de 10 km. Pour des distances de séparation plus importantes, les angles sont proportionnellement plus grands.

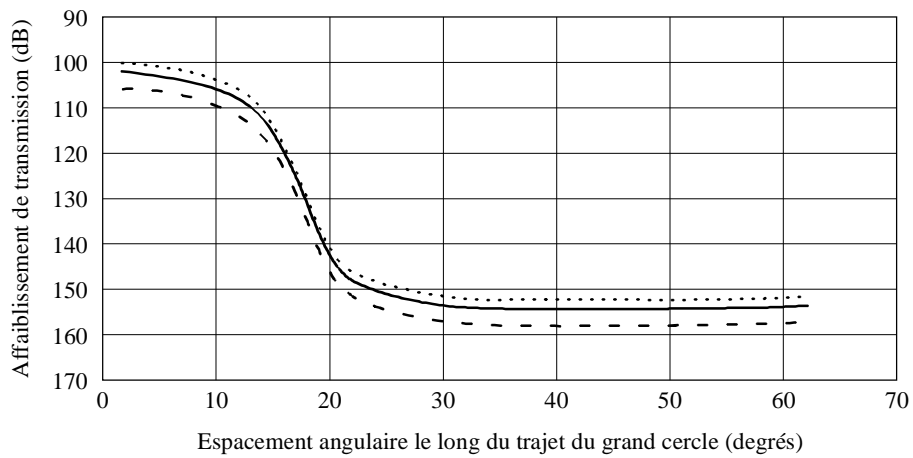
Les résultats illustrés à la Fig. 5 ont montré que pour des angles d'élévation du récepteur de plus de 30°, l'affaiblissement est pour ainsi dire indépendant de l'angle d'élévation. La Fig. 9 illustre donc la dépendance de l'affaiblissement vis-à-vis de la distance, pour une fréquence de 18 GHz, un angle d'élévation de l'émetteur de 30°, un angle d'élévation du récepteur de 80°, et deux taux de précipitation (30 et 60 mm/h).

FIGURE 6

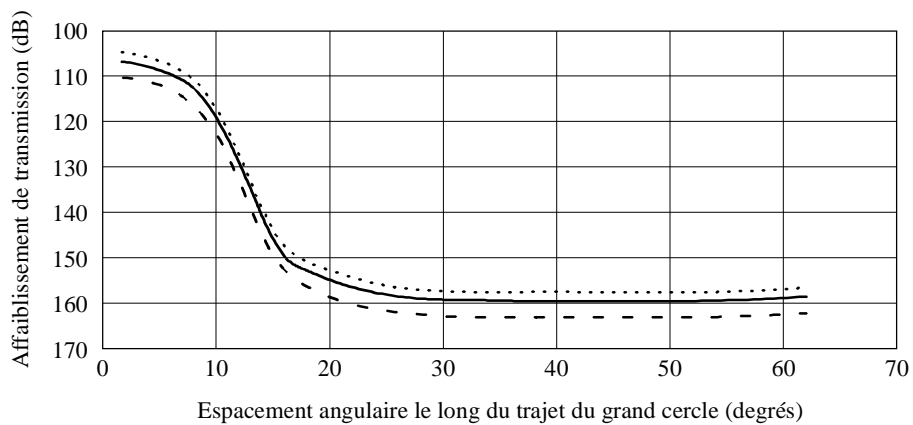
Variation de l'affaiblissement de transmission en fonction de l'angle d'élévation d'un récepteur à large faisceau



a) Distance de 5 km entre l'émetteur et le récepteur



b) Distance de 10 km entre l'émetteur et le récepteur

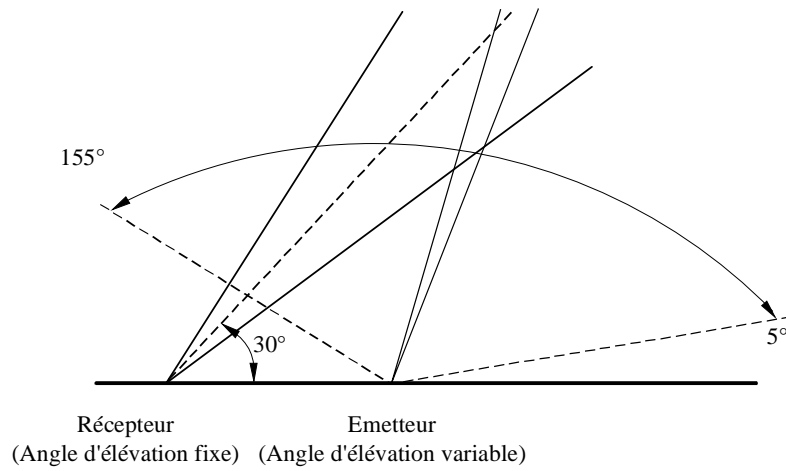


c) Distance de 20 km entre l'émetteur et le récepteur

- - - 5 GHz
 15 GHz
 ——— 30 GHz

FIGURE 7

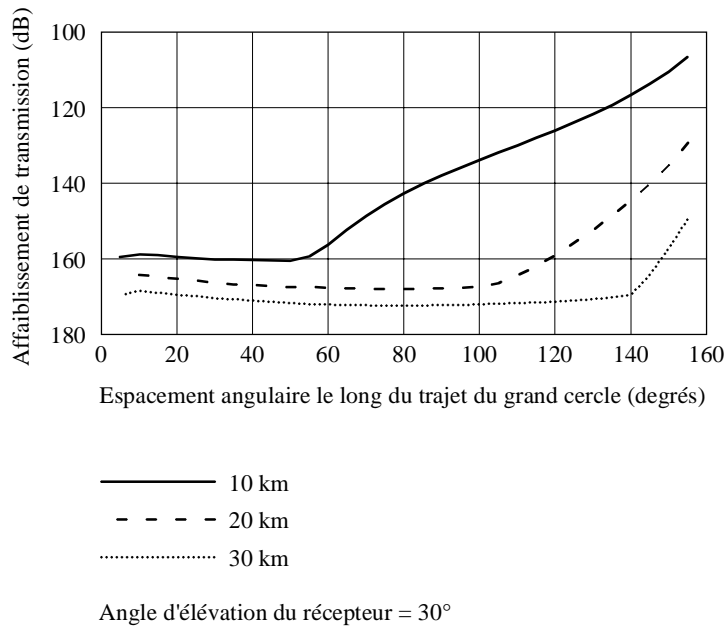
Géométrie lorsque l'angle d'élévation du récepteur est fixe et celui de l'émetteur variable



1412-07

FIGURE 8

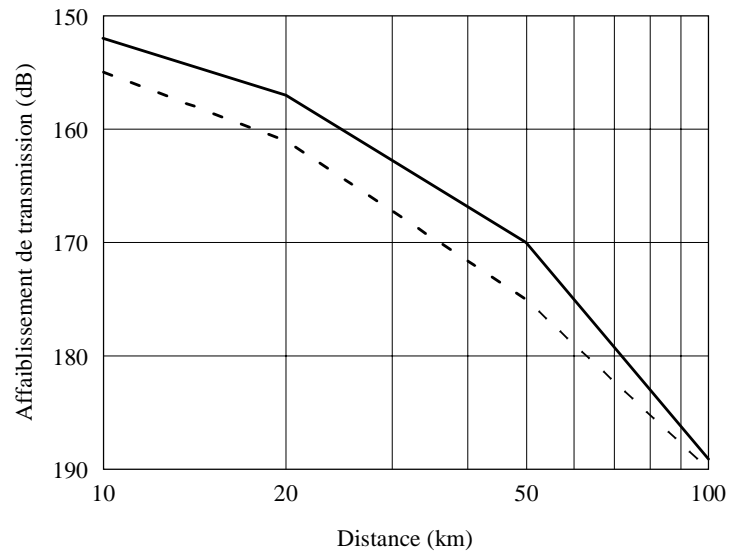
Variation de l'affaiblissement de transmission en fonction de l'angle d'élévation de l'émetteur à faisceau étroit



1412-08

FIGURE 9

Variation de l'affaiblissement de transmission en fonction de la distance



- - - - 30 mm/h
 ——— 60 mm/h

Angle d'élévation de l'émetteur = 30°
 Angle d'élévation du récepteur = 80°
 Fréquence = 18 GHz

1412-09

