

RECOMMANDATION UIT-R S.1781

Méthode pouvant être utilisée pour le partage de fréquences entre réseaux géostationnaires du service fixe par satellite dans les deux sens comportant des stations terriennes ubiquitaires

(Question UIT-R 209/4)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit une méthode visant à établir, sur la base d'une coordination entre zones, la compatibilité de fréquences entre deux systèmes du service fixe par satellite (SFS), dont l'un ou les deux font intervenir un grand nombre de terminaux au sol ubiquitaires, les terminaux de l'un des systèmes émettant et les terminaux de l'autre système recevant dans les mêmes bandes de fréquences attribuées au SFS dans les deux sens.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le déploiement de stations terriennes ubiquitaires de type microstation (terrienne) (VSAT) du service fixe par satellite (SFS), à savoir l'installation et l'exploitation de stations terriennes sans licence individuelle mais faisant l'objet d'une licence globale pour le système dans lequel elles sont exploitées, suscite un intérêt croissant;
- b) qu'en pareil cas, l'emplacement précis de chacune des stations terriennes n'est en principe pas connu au moment où la coordination de fréquences est réalisée pour le système;
- c) que la nécessité de déployer les stations terriennes en grands nombres rend difficile leur coordination site par site;
- d) que certaines bandes de fréquences dans lesquelles ce déploiement serait souhaitable sont attribuées au SFS dans les deux sens;
- e) que certaines des bandes attribuées au SFS dans les deux sens font également l'objet de dispositions réglementaires particulières, par exemple les dispositions relatives au Plan d'allotissement pour le SFS ou au Plan de l'Appendice 30A du Règlement des radiocommunications (RR);
- f) que certaines administrations peuvent opter pour une certaine forme de coordination entre zones, dans lesquelles les stations terriennes de type VSAT du SFS peuvent être exploitées dans un seul sens de transmission;
- g) que, dans les cas décrits au point f) du *considérant*, il peut être utile que les administrations disposent de méthodes pour déterminer la zone de coordination globale sur la base de critères techniques de leur choix,

notant

- a) que le contour de coordination autour de la région dans laquelle une administration souhaite mettre en œuvre une coordination entre zones peut se situer à la frontière d'autres zones de coordination appartenant au territoire de la même administration ou au niveau de frontières internationales;

b) que les administrations devront prendre les mesures qui s'imposent afin de déterminer les bandes de fréquences et les zones géographiques associées pour lesquelles une méthode de coordination sera mise en œuvre pour un grand nombre de terminaux exploités dans la même bande,

reconnaissant

a) que les administrations sont libres de rechercher des accords bilatéraux en dehors du cadre du RR;

b) que les administrations sont libres de choisir le niveau de protection à accorder aux stations terriennes de type VSAT du SFS déployées sur leur territoire;

c) que, dans le cas d'une coordination internationale, les administrations doivent s'entendre sur les caractéristiques des stations terriennes et les caractéristiques de protection à prendre en considération;

d) que des facteurs tels que la protection de stations terriennes réceptrices vis-à-vis de stations terriennes émettrices de plus grande puissance situées sur le territoire d'administrations n'ayant pas conclu d'accord bilatéral peuvent indiquer qu'il est souhaitable d'enregistrer les stations terriennes réceptrices auprès du Bureau des radiocommunications, que ces stations fassent ou non l'objet d'un accord bilatéral;

e) que, en ce qui concerne les bandes attribuées au SFS dans les deux sens qui font l'objet de dispositions réglementaires particulières, les administrations doivent aussi tenir compte de ces dispositions lorsqu'elles prévoient de déployer des stations terriennes dans ces bandes,

recommande

1 que les administrations qui ont l'intention d'accorder une licence sur leur territoire, sur la base d'une coordination entre zones, à des stations terriennes ubiquitaires de type VSAT du SFS exploitées dans des bandes attribuées au SFS dans les deux sens, envisagent de suivre les lignes directrices énoncées dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation.

Annexe 1

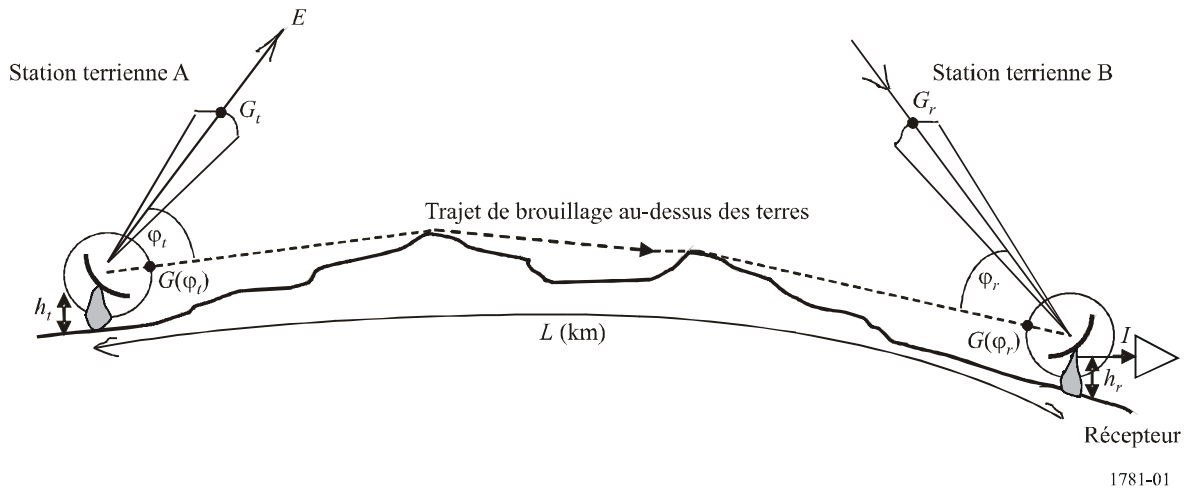
1 Introduction

La présente annexe décrit les éléments d'une méthode visant à établir la compatibilité de fréquences entre deux systèmes du SFS, dont l'un ou les deux font intervenir un grand nombre de terminaux au sol ubiquitaires, les terminaux de l'un des systèmes émettant et les terminaux de l'autre système recevant.

L'analyse développée dans la présente annexe est fondée sur les paramètres de système utilisés dans la bande 12,5-12,75 GHz. Comme les attributions au SFS dans les deux sens s'appliquent uniquement en Région 1 dans cette bande, les exemples doivent porter sur des pays de la Région 1. Toutefois, la méthode est générale et peut être appliquée à n'importe quelle bande attribuée au SFS dans les deux sens.

2 Méthode

FIGURE 1



Dans l'exemple illustré sur la Fig. 1 ci-dessus, la station terrienne A est exploitée avec un satellite géostationnaire dans la bande 12,5-12,75 GHz attribuée au SFS (Terre vers espace), tandis que la station terrienne B est exploitée avec un autre satellite géostationnaire dans la bande 12,5-12,75 GHz attribuée au SFS (espace vers Terre). La station terrienne A émet une porteuse modulation par déplacement de phase (MDP) centrée sur 12,625 GHz, avec une densité spectrale de p.i.r.e. de E dB(W/MHz), et brouille, par le biais d'un trajet au-dessus des terres, la réception par la station terrienne B d'une autre porteuse MDP centrée sur 12,625 GHz. La densité spectrale de brouillage, I , à l'entrée du récepteur de la station terrienne B est alors donnée par:

$$I = E - G_t + G(\varphi_t) - pl + G(\varphi_r) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

où:

- G_t : gain dans l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne A (dBi)
- $G(\varphi_t)$: gain de l'antenne de la station terrienne A vers l'horizon en direction de la station terrienne B (dBi)
- pl : affaiblissement sur le trajet entre les deux stations terriennes (dB)
- $G(\varphi_r)$: gain de l'antenne de la station terrienne B vers l'horizon en direction de la station terrienne A (dBi)
- φ_t : angle entre l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne A et l'horizon en direction de la station terrienne B (degrés)
- φ_r : angle entre l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne B et l'horizon en direction de la station terrienne A (degrés).

Au lieu d'utiliser des hypothèses pour tous les cas, il est possible de générer des contours à l'intérieur desquels le déploiement de stations du SFS exploitées dans des sens de transmission opposés dans les mêmes bandes serait compatible pour un pourcentage de cas donné grâce à une sélection appropriée des paramètres à utiliser avec l'équation (1).

Par exemple, une étude réalisée par l'UIT-R en 2002 concernant les stations terriennes du SFS existantes ou en projet a produit des statistiques sur les diamètres des antennes, leur p.i.r.e. et la largeur de bande des porteuses émises. L'étude a porté sur presque 127 000 terminaux dotés d'une antenne de diamètre compris entre 1,5 et 2,1 m. Elle a porté essentiellement sur les stations

terriennes conçues pour émettre dans la bande 14-14,5 GHz, mais on peut supposer qu'une étude concernant la bande 12,5-12,75 GHz donnerait des statistiques analogues, malgré une base de données plus petite. On peut utiliser ces résultats pour établir des hypothèses raisonnables pour les paramètres E et G_t dans l'équation (1).

La valeur de φ_t ou φ_r dépend de la latitude et de la longitude de la station terrienne, de la longitude du satellite avec lequel elle est exploitée et du relèvement en azimut de l'autre station terrienne. La variation de φ en fonction de ces paramètres est calculée dans l'Appendice 1, qui montre par ailleurs comment élaborer des fonctions de distribution cumulative des angles entre l'axe de visée et la direction du brouillage, entre des stations terriennes exploitées dans des sens de transmission opposés, de manière à pouvoir choisir des valeurs adéquates de φ_t et φ_r à utiliser dans l'équation (1).

2.1 Méthode appliquée à un exemple international

L'étude réalisée par l'UIT-R en 2002 concernant les stations terriennes du SFS existantes ou en projet a montré que le diamètre des antennes installées jusqu'alors et exploitées dans la bande 14-14,5 GHz était généralement voisin de 1,8 m et que 98% de ces antennes émettaient des porteuses dont la p.i.r.e. ne dépassait pas 52 dBW et dont la largeur de bande ne dépassait pas 1 MHz. Les valeurs de $E = 52 \text{ dB(W/MHz)}$ et $G_t = 10 \log ((0,65) \{\pi \cdot (1,8) / \lambda\}^2) = 45,7 \text{ dBi}$ ont donc été choisies pour le présent exemple.

Comme indiqué dans l'appendice, pour environ 96% des stations terriennes, φ_t et φ_r ne seront pas inférieurs à 25° et $G(\varphi_t)$ et $G(\varphi_r)$ ne seront donc pas supérieurs à -3 dBi . L'appendice montre aussi que, si $G(\varphi) \equiv -3 \text{ dBi}$, il est suffisamment prudent de supposer que $G(\varphi_r) \equiv -10 \text{ dBi}$ et inversement.

Si l'on considère que ces valeurs de E , G_t , $G(\varphi_t)$ et $G(\varphi_r)$ correspondent à un cas qui est presque le cas le plus défavorable, l'équation (1) devient:

$$I = -6,7 - pl \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (2)$$

Conformément à la Recommandation UIT-R S.1323, pour la conception d'une liaison du SFS OSG, on devrait partir du principe que «*la somme des puissances des signaux brouilleurs émanant des stations terriennes et des stations spatiales de l'ensemble des autres réseaux OSG du SFS ... ne dépasse pas, à l'entrée du démodulateur, ... 20% de la puissance totale de bruit du système, dans des conditions de propagation par ciel clair ...*». Pour le présent exemple, on suppose que le brouillage cumulatif comporte des contributions égales provenant des émissions sur les liaisons montantes et des émissions sur les liaisons descendantes de tous les systèmes OSG du SFS exploités dans le même sens ou dans les deux sens dans une bande de 1 MHz centrée sur 12,625 MHz. Le brouillage cumulatif reçu par la station terrienne B en provenance de toutes les stations terriennes utilisant cette bande de 1 MHz dans le sens Terre vers espace est donc limité ici à un maximum de 5% du bilan de bruit sur la liaison.

A l'exception des réseaux AMRC, une seule station terrienne peut émettre vers un satellite donné pour une fréquence et un sens de polarisation donnés de porteuse, à un instant donné, dans la couverture d'un faisceau de réception donné, car les liaisons montantes associées à plusieurs porteuses cofréquence dans le même faisceau se brouilleraient beaucoup. (La technique AMRC permet à n porteuses de ce type de coexister dans ces conditions, mais la p.i.r.e. de la porteuse de chaque station terrienne dans ce cas n'est que d'environ $1/n$ fois la p.i.r.e. d'une seule station terrienne employant la technique AMRF.) Aux latitudes proches de 50° , l'élévation de l'OSG est supérieure à 10° en tout point de la surface de la Terre dont la longitude est comprise dans une gamme d'environ 120° (à savoir $\pm 60^\circ$). L'espacement minimal entre satellites cofréquence, cocouverture est d'environ 3° dans les Régions 1 et 3 de l'UIT et d'environ 2° dans la Région 2. Il s'ensuit que, à la limite, 40 à 60 stations terriennes présentes dans une zone de couverture donnée

peuvent émettre une porteuse de même fréquence et de même polarisation vers différents satellites géostationnaires, les brouillages entre les liaisons montantes correspondantes restant dans des limites acceptables grâce à la discrimination offerte par le diagramme d'émission des antennes.

Toutefois, même si dans la bande considérée utilisée par les porteuses, l'OSG était entièrement utilisée de cette manière, il est très improbable que toutes les stations terriennes émettant dans la zone de couverture commune se trouvent à un emplacement suffisamment proche d'une station terrienne donnée recevant une porteuse cofréquence pour causer des brouillages importants à cette station terrienne. En particulier, il est probable que plusieurs pays interviennent car un faisceau de satellite type exploité dans la bande 14-14,5 GHz est dimensionné pour une couverture continentale et non pour une couverture nationale. Par conséquent, la tolérance de dix stations terriennes émettant dans la bande de 1 MHz à 12,625 GHz et brouillant une même station terrienne recevant à cette fréquence est considérée comme suffisamment prudente ici. Dans cette étude, le brouillage maximal causé par une seule station terrienne A à une station terrienne B par temps clair est donc limité à 0,5% du bilan de bruit du système.

Comme les brouillages par le biais des trajets au-dessus des terres dépendent des conditions de propagation, il est nécessaire de connaître le pourcentage de temps pendant lequel les conditions de propagation «par temps clair» s'appliquent. La Recommandation UIT-R S.1062 précise que le taux TEB requis à long terme ne doit pas être dépassé pendant plus de 10% du mois le plus défavorable, ce qui correspond à 4% de l'année moyenne. Le brouillage causé par la station terrienne A à la station terrienne B ne devrait donc pas dépasser 0,5% du bruit du système B pendant plus de 4% du temps, soit:

$$I \leq 10 \log ((0,05)(k T B)) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

où:

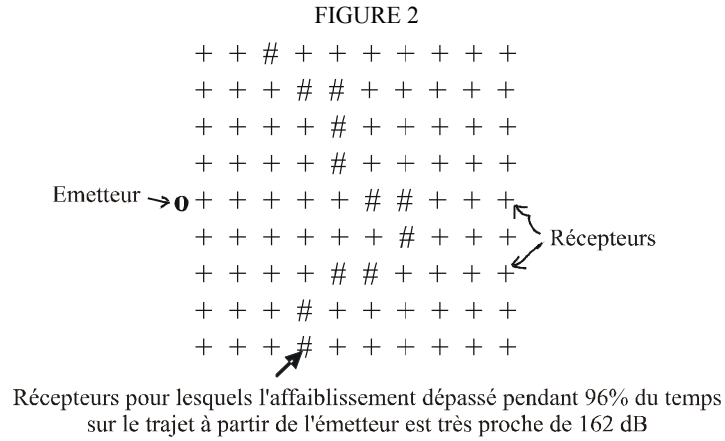
$10 \log (k)$: $-228,6$ dB(W/Hz) par Kelvin (constante de Boltzmann)

T : température de bruit du système (> 200 K pour la plupart des liaisons montantes dans la bande 14-14,5 GHz)

B : 1 MHz comme défini plus haut.

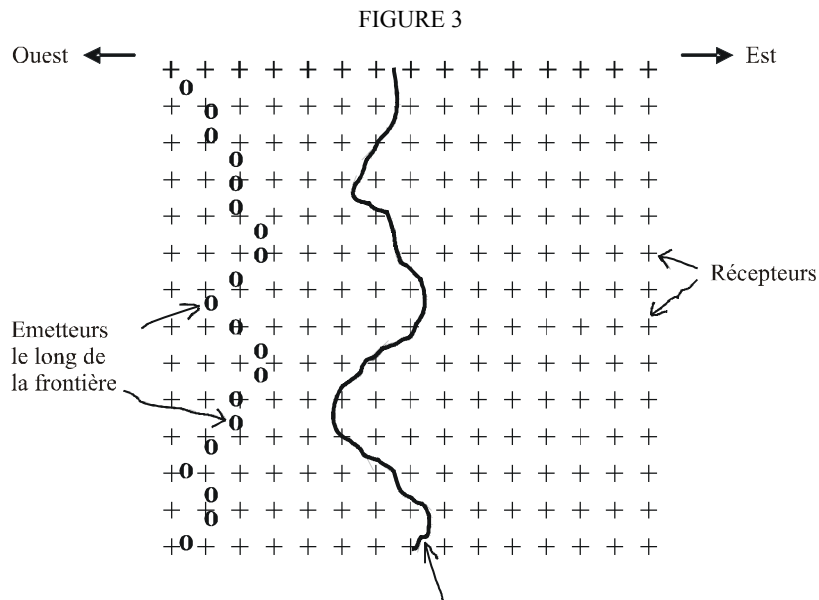
Il ressort de la combinaison des équations (2) et (3) que, pour la bande qui doit être partagée par des réseaux du SFS exploités dans les deux sens, l'affaiblissement sur le trajet de brouillage entre les stations terriennes A et B devrait être égal ou supérieur à 162 dB pendant au moins 96% du temps.

Si une base de données topographiques est disponible, à savoir une base de données contenant les hauteurs de la terre au-dessus du niveau de la mer en des points répartis régulièrement dans une zone donnée, on peut utiliser les informations et algorithmes donnés dans les Recommandations UIT-R P.452 et UIT-R P.526 pour calculer l'affaiblissement de propagation dépassé pendant un pourcentage de temps donné sur un trajet le long du grand cercle entre deux points de données quelconques situés dans cette zone. Ces Recommandations portent à la fois sur les trajets en visibilité directe et sur les trajets transhorizon, compte tenu de l'absorption atmosphérique et des modes de propagation par diffraction, par conduits et par diffusion troposphérique, selon les cas. Par conséquent, si on élabore un modèle logiciel comportant un seul émetteur et un grand nombre de récepteurs espacés régulièrement, il est possible de calculer les affaiblissements dépassés pendant un pourcentage de temps donné sur les trajets entre l'émetteur et chacun des récepteurs et donc de déterminer tous les trajets sur lesquels l'affaiblissement est proche d'une valeur donnée – voir la Fig. 2.



1781-02

Si on ajoute dans le modèle d'autres émetteurs, faiblement espacés le long d'une frontière donnée dans la zone géographique considérée, puis que l'on choisit la longueur de trajet maximale, L , à partir de chaque émetteur correspondant à l'affaiblissement sur le trajet considéré, on peut tracer un contour au-delà duquel l'affaiblissement dépassera la valeur donnée pour le pourcentage de temps donné pour une émission à partir de n'importe quel émetteur situé le long de cette frontière. La zone comprise entre la frontière et ce contour sera la zone maximale dans laquelle l'affaiblissement sur le trajet peut ne pas convenir pour un partage des fréquences. La précision du contour peut être améliorée par interpolation linéaire entre les paires appropriées de récepteurs adjacents – voir la Fig. 3.



A l'est de ce contour, l'affaiblissement sur le trajet à partir de n'importe quel émetteur situé le long de la frontière dépassera, par exemple, 162 dB pendant plus de 96% du temps

1781-03

La forme du contour dépend en partie de la forme de la frontière et en partie de la nature du terrain entre le contour et la frontière.

Il ressort clairement de l'analyse de cet exemple qu'une station terrienne dotée d'une antenne de diamètre égal ou supérieur à 1,8 m, émettant à une p.i.r.e. pouvant aller jusqu'à 52 dB(W/MHz) dans la bande 12,5-12,75 GHz, peut se situer n'importe où à l'ouest de la frontière sans dépasser un critère de brouillage dû à une seule source de 0,5% du bruit de système au niveau d'une station terrienne recevant à la même fréquence située n'importe où à l'est du contour.

On a utilisé un logiciel propriétaire pour élaborer un modèle tel que décrit ci-dessus pour un exemple dans lequel la frontière est celle entre la France et l'Allemagne. La base de données topographiques utilisée a une résolution horizontale d'environ 900 m et une résolution verticale d'environ 1 m. Cela étant, on a adopté un intervalle de 5 km entre stations terriennes réceptrices adjacentes dans tout l'est de la France et dans tout l'ouest de l'Allemagne, et une résolution analogue entre stations terriennes émettrices adjacentes le long de la frontière entre les deux pays. La hauteur de l'antenne au-dessus du niveau du sol local pour chaque station terrienne réceptrice et chaque station terrienne émettrice (h_r et h_t sur Fig. 1) a été fixée à 5 m.

Les résultats sont donnés sur la Fig. 4, sur laquelle apparaissent les contours en France et en Allemagne. Deux cas sont illustrés:

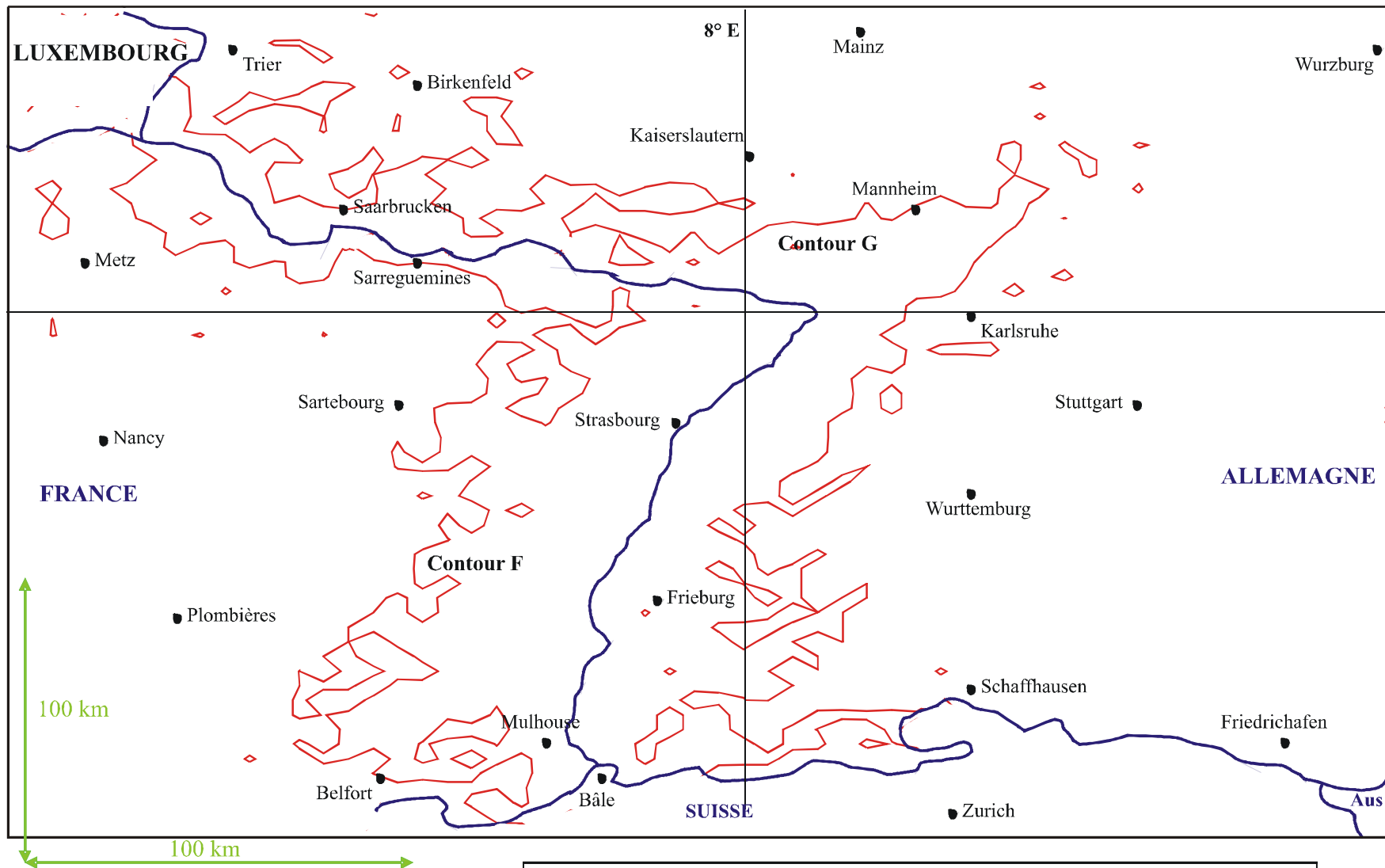
- lorsque des stations terriennes émettrices sont déployées en France jusqu'à la frontière internationale, le critère de brouillage sera satisfait au niveau de n'importe quelle station terrienne située en Allemagne sur le contour G ou à l'est de celui-ci; et
- lorsque des stations terriennes émettrices sont déployées en Allemagne jusqu'à la frontière internationale, le critère de brouillage sera satisfait au niveau de n'importe quelle station terrienne située en France sur le contour F ou à l'est de celui-ci.

Pour utiliser au maximum la bande attribuée pour les liaisons montantes et pour les liaisons descendantes tout en offrant un accès égal aux deux pays, il serait techniquement possible que la France utilise la totalité de la bande à l'ouest du contour F et qu'elle utilise la moitié de la bande entre le contour F et la frontière avec l'Allemagne; quant à l'Allemagne, elle pourrait utiliser la totalité de la bande à l'est du contour G et l'autre moitié de la bande entre le contour G et la frontière avec la France. Un tel arrangement devrait bien entendu faire l'objet d'un accord préalable entre les Administrations des deux pays. Les zones dans lesquelles les restrictions d'utilisation de la bande s'appliqueraient peuvent être considérées comme des parties très faibles du territoire de la France et de celui de l'Allemagne et, dans ces zones, il n'est pas tenu compte de l'effet d'écran local du terrain à chacune des deux extrémités des trajets de brouillage.

Les contours peuvent être calculés avec une plus grande précision si on utilise une base de données topographiques de meilleure résolution et/ou si on réduit l'intervalle entre stations terriennes adjacentes dans le modèle informatique et qu'on augmente en conséquence les nombres correspondants. Dans la plupart des cas, cela conduirait à une certaine réduction des zones avec «restriction». En outre, la prise en compte de l'effet d'écran du terrain permettrait de réduire encore ces zones localement, au cas par cas.

FIGURE 4

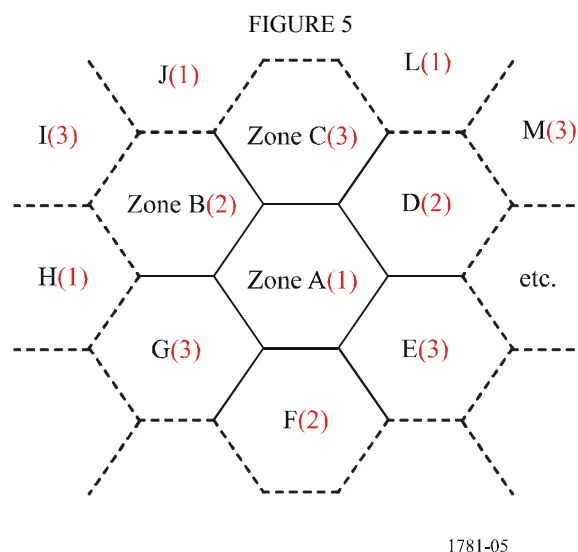
Contours pour le partage entre stations terriennes ubiquitaires de deux réseaux du SFS utilisant des sens de transmission opposés; International



Les contours correspondent à un affaiblissement minimal sur le trajet à partir de la frontière internationale ≥ 162 dB pendant 96% du temps

2.2 Méthode appliquée à un exemple national

Dans ce cas, on ne peut évidemment pas utiliser la frontière entre deux pays comme frontière aux fins du partage de fréquences dans les deux sens. Dans un pays donné, il faut définir des zones dans chacune desquelles les stations terriennes peuvent émettre vers certains satellites à la même fréquence que celle à laquelle les stations terriennes situées en dehors de cette zone, mais toujours dans le même pays, reçoivent en provenance d'autres satellites. Il est théoriquement possible d'utiliser des frontières géographiques locales à cette fin (par exemple les frontières de comté en Angleterre ou les frontières de canton en Suisse), mais cet exercice serait inutile car il y a peu de chances que le déploiement des systèmes VSAT soit corrélé avec ces frontières géographiques. Une solution plus appropriée consiste à définir des zones hexagonales, de sorte que les zones adjacentes puissent utiliser en partage les fréquences dans les deux sens dans tous le pays – de manière analogue à un système cellulaire de Terre, mais avec des «cellules» plus grandes – comme illustré sur la Fig. 5.



Dans cette disposition, si la taille de l'hexagone est suffisamment grande, la plus grande partie de la zone A peut être utilisée pour les stations terriennes émettant (vers différents satellites) à la même fréquence que celle à laquelle les stations terriennes situées dans les zones B, C, D, etc. reçoivent, et inversement. Comme dans l'exemple international, il y aura une bande de terre irrégulière proche de la frontière de chaque zone hexagonale dans laquelle les émissions seront restreintes. La nature précise de la restriction relève de la compétence des opérateurs concernés et de l'autorité nationale chargée de l'octroi des licences. Le Tableau 1 présente une possibilité permettant d'offrir un accès égal au spectre aux parties des différentes zones hexagonales faisant l'objet d'une restriction.

Un exemple de cette disposition a été modélisé au moyen du logiciel propriétaire mentionné au § 3, pour une zone hexagonale située dans le centre de l'Angleterre. Les résultats sont montrés sur la Fig. 6 ci-après. On a à nouveau utilisé un espacement de 5 km entre stations terriennes réceptrices adjacentes ainsi qu'entre stations terriennes émettrices adjacentes et une hauteur de 5 m pour les antennes de toutes les stations. Les stations terriennes émettrices étaient situées près de la frontière de la zone hexagonale centrale ainsi que le long des six segments qui séparent cette zone des zones adjacentes de même taille. La «grille» des stations terriennes réceptrices a été dimensionnée de façon à couvrir l'ensemble de la zone rectangulaire illustrée sur la Fig. 6. On a ainsi pu tracer le contour définissant la partie de la zone hexagonale A qui fait l'objet d'une restriction ainsi que les morceaux de contour correspondants dans les parties des zones adjacentes B, C, D, E, F et G se trouvant dans la région modélisée.

TABLEAU 1

Possibilité de subdivision de la bande en parts égales

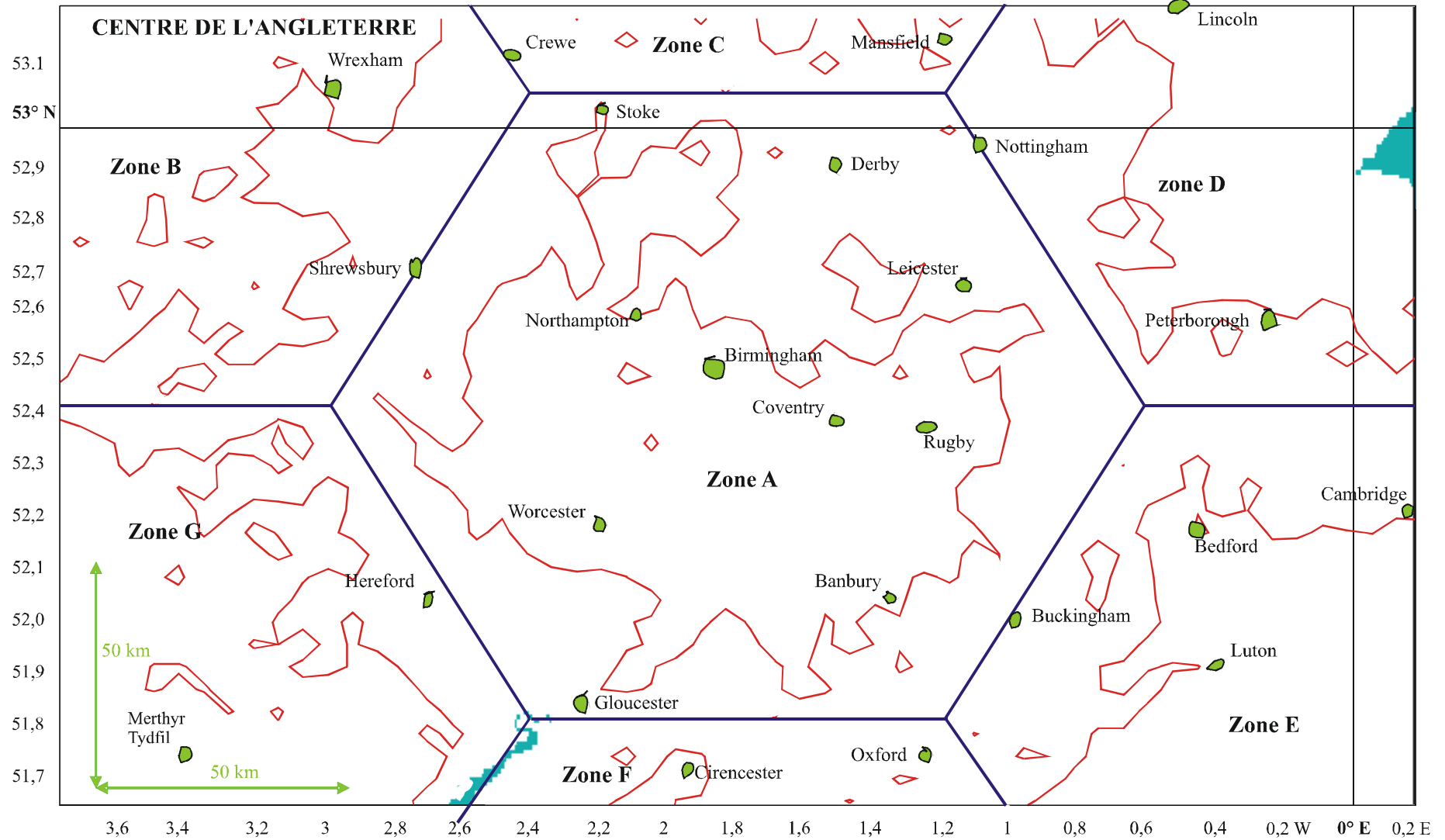
<----- 12,5-12,75 GHz ----->		
f1 = 12,5-12,583 GHz (1) sur la Fig. 5	f2 = 12,583-12,667 GHz (2) sur la Fig. 5	f3 = 12,667-12,75 GHz (3) sur la Fig. 5
Partie de A soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f1	Partie de B soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f2	Partie de C soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f3
Partie de H soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f1	Partie de D soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f2	Partie de E soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f3
Partie de J soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f1	Partie de F soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f2	Partie de G soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f3
Partie de L soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f1		Partie de I soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f3
		Partie de M soumise à la restriction d'émettre à la fréquence f3

En ce qui concerne le partage de fréquences dans un pays, en particulier dans un pays de superficie relativement petite, il peut être utile d'adopter un critère de brouillage relativement peu prudent, de sorte que les parties avec «restriction» ne représentent pas une trop grande part des zones hexagonales. Par conséquent, pour l'exemple national considéré ici, les hypothèses conduisant aux équations (2) et (3) du § 2 ont été réexaminées et les modifications suivantes ont été apportées:

- En premier lieu, un examen de la base de données élaborée à partir des réponses au Questionnaire de 2002 relatif aux terminaux VSAT exploités dans la bande 14-14,5 GHz et ayant une antenne de diamètre compris entre 1,5 et 2,1 m a montré que 98% des stations terriennes émettent à une puissance inférieure à 52 dBW (dans une largeur de bande de 1 MHz), mais que le pourcentage ne commence à baisser nettement que pour des niveaux de p.i.r.e. inférieurs à environ 49 dBW. En fait, 97% des stations terriennes émettent à une p.i.r.e. inférieure à 50 dBW.
- En deuxième lieu, comme le partage de fréquences dans ce cas relève de la compétence d'une seule administration, l'environnement de brouillage devrait en principe être mieux maîtrisé que dans l'exemple international. En outre, contrairement au cas international, il est moins probable que le nombre des stations terriennes se trouvant à une distance inférieure à la distance «de brouillage» d'une station terrienne donnée et émettant à la même fréquence que celle à laquelle la station terrienne reçoit atteigne dix. Par conséquent, dans le présent exemple, on considère comme raisonnable une tolérance de brouillage dû à une seule source égale à 1% du bilan de bruit du système (au lieu de 0,5% au § 2).
- En troisième lieu, il ressort de la Fig. 11 que, pour environ 92% des trajets de brouillage, l'angle entre l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne émettrice ou réceptrice et la direction du brouillage sera supérieur à environ 30° (au lieu de 25° au § 2). Pour un angle de 30°, le gain dans les lobes secondaires de l'antenne sera de -5 dBi. Par conséquent, le gain sera inférieur à -5 dBi pour environ 92% des trajets de brouillage et, dans cet exemple, on supposera que $G(\varphi_t) = -5$ dBi et $G(\varphi_r) = -10$ dBi.

FIGURE 6

Contours pour le partage entre stations terriennes ubiquitaires de deux réseaux du SFS utilisant des sens de transmission opposés; National



Les contours correspondent à un affaiblissement minimal sur le trajet à partir de la frontière de la zone hexagonale ≥ 155 dB pendant 96% du temps.

Compte tenu de ces facteurs dans les équations (2) et (3), l'affaiblissement sur le trajet qui doit être dépassé pendant au moins 96% du temps à utiliser pour définir les contours vaut maintenant 155 dB.

Il ressort de la Fig. 6 que, comme dans l'exemple international, le partage de la totalité de la bande 12,5-12,75 GHz par le SFS dans les deux sens serait possible pour les stations terriennes situées dans la plus grande partie d'un pays. Dans la zone A sur la Fig. 6 par exemple, aucune restriction ne serait appliquée à l'utilisation de la bande par les stations terriennes émettrices situées à l'intérieur du contour, ce qui correspond à plus de 50% de la zone, et il semble que ce soit le cas aussi dans les zones B, C, D, E et H. Le recours à une base de données topographiques de meilleure résolution que celle employée ici et l'inclusion des «obstacles» locaux (bâtiments, arbres, etc.) auraient pour effet de «déplacer» le contour vers la frontière de la zone dans de nombreux cas. Entre le contour et la frontière de la zone hexagonale, il faudrait envisager des moyens additionnels pour faciliter le partage de la bande, par exemple, restreindre les émissions à un tiers de la bande dans chaque zone hexagonale comme expliqué plus haut.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Variation de l'angle entre l'axe de visée des antennes et le trajet de brouillage

L'angle d'élévation d'une station terrienne fonctionnant avec un satellite géostationnaire peut être déterminé par l'expression suivante:

$$E_S = \arctan ((\cos (\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos (\lambda_E) - 0.1513) / (1 - \cos^2 (\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos^2 (\lambda_E))^{1/2}) \quad (4)$$

où:

- E_S : angle d'élévation de l'antenne de la station terrienne
- α_E : longitude de la station terrienne
- α_S : longitude du satellite
- λ_E : latitude de la station terrienne.

L'azimut de la station terrienne en direction du satellite peut être déterminé par l'expression suivante:

$$A_S = 180 + \arctan (\tan (\alpha_E - \alpha_S) / \sin (\lambda_E)) \quad (5)$$

où A_S est l'angle d'azimut, en degrés par rapport au nord vrai, en direction de la station spatiale avec laquelle la station terrienne fonctionne.

L'angle entre l'axe de visée de l'antenne d'une station terrienne exploitée conformément aux valeurs de E_S et A_S déterminées ci-dessus, et la direction de n'importe quelle autre station terrienne en

direction de laquelle l'azimut, également en degrés par rapport au nord vrai, vaut A_E , peut être déterminé par l'expression suivante, dans l'hypothèse d'une élévation de l'horizon nulle¹:

$$\varphi = \arccos (\cos (E_S) \cdot \cos (A_E - A_S)) \quad (6)$$

où:

- φ : angle entre l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne et la direction de l'autre station terrienne
- A_E : angle d'azimut, en degrés par rapport au nord vrai, en direction de l'autre station terrienne.

Dans l'exemple international considéré dans la présente Recommandation, la latitude moyenne est d'environ 49° N, et sur les Fig. 7 à 10 ci-après, on a utilisé les équations (4) à (6) pour représenter φ , pour $\lambda_E = 49^\circ$, en fonction de A_E pour quatre valeurs d'espacement entre les longitudes de la station terrienne et du satellite géostationnaire avec lequel elle est exploitée ($\alpha_E - \alpha_S$). Comme prévisible, la Fig. 7 montre que, lorsque la station terrienne et le satellite correspondant sont à la même longitude, la variation de l'angle par rapport à l'axe de visée de l'antenne est symétrique pour les relèvements en azimut vers l'est et vers l'ouest. De même, les Fig. 8, 9 et 10 montrent des variations asymétriques vers l'est et vers l'ouest, la valeur minimale de φ étant obtenue lorsque A_E correspond à l'azimut de la station terrienne émettrice. Si les Fig. 8, 9 et 10 étaient recalculées dans les cas correspondants où le satellite se trouve à l'ouest de la station terrienne, on obtiendrait les images miroir (autour de $A_E = 0^\circ$) des trois diagrammes.

A nouveau, comme prévisible, la valeur minimale de φ est dans chaque cas égale à l'angle d'élévation du satellite tel qu'il est «vu» par la station terrienne. On peut le vérifier en évaluant l'équation (4) et en comparant le résultat avec les points minimaux des courbes des Fig. 7 à 10.

$\alpha_E - \alpha_S$ (degrés)	0	20	40	60
E_S (degrés)	33,78	30,58	22,11	10,60

Comme la plupart des réseaux OSG du SFS fonctionnant dans la bande 14-14,5 GHz ne sont pas exploités à des angles d'élévation inférieurs à environ 10°, on peut considérer que les Fig. 7 à 10 couvrent la totalité des angles entre l'axe de visée et la direction du brouillage, entre des stations terriennes utilisant des sens de transmission opposés.

Comme les stations terriennes peuvent être situées n'importe où, le trajet de brouillage entre une station terrienne utilisant l'attribution au SFS dans la bande 12,5-12,75 GHz (Terre vers espace) et une station terrienne utilisant l'attribution dans la bande 12,5-12,75 GHz (espace vers Terre) peut avoir n'importe quelle direction à la surface de la terre. Par conséquent, tous les relèvements en azimut (A_E) au niveau de n'importe quelle station terrienne émettant ou recevant dans cette bande peuvent être considérés comme ayant la même probabilité. De même, dans le cadre du présent exercice, toutes les différences (possibles) entre la longitude de la station terrienne et celle du satellite ($\alpha_E - \alpha_S$) sont considérées comme ayant la même probabilité (en pratique, les petites différences de longitude sont plus courantes que les grandes, mais cette hypothèse permet de simplifier l'analyse et pêche par excès de prudence, autrement dit, les résultats sont légèrement pessimistes). Par conséquent, les résultats produits sur les Fig. 7, 8, 9 et 10 pour des valeurs de $\alpha_E -$

¹ Les résultats donnés dans le présent appendice seraient légèrement différents dans l'hypothèse d'une élévation de l'horizon non nulle, mais la différence serait petite car les emplacements de station terrienne pour lesquels l'élévation de l'horizon dépasse 2° ou 3° sont rares.

α_s espacées de 10° entre 0° et 60° ont permis de créer une fonction de distribution cumulative (CDF) des angles entre l'axe de visée et la direction du brouillage, couvrant toutes les conditions géographiques, dans l'hypothèse d'une probabilité identique et d'une latitude moyenne de 49° . Cette fonction CDF est représentée par la courbe supérieure de la Fig. 11.

Dans un souci de commodité, le diagramme de gain hors axe pour une antenne de 1,8 m à 12,625 GHz (voir l'exemple donné dans le texte principal de la présente Recommandation) a été ajouté sur la Fig. 11 (courbe inférieure) en insérant un axe vertical à droite avec une échelle appropriée. Ce diagramme a été calculé au moyen des formules données dans la Recommandation UIT-R S.580. On peut donc constater, par exemple, qu'un angle par rapport à l'axe de visée de 25° est dépassé par au moins 96% des trajets de brouillage et que le gain d'antenne est inférieur à environ -3 dBi pour tous les angles par rapport à l'axe de visée supérieurs à 25° . Comme le gain maximal (c'est-à-dire dans l'axe) d'une telle antenne est de 45,7 dBi dans l'hypothèse d'un rendement de 65%, il s'ensuit que la discrimination d'antenne à l'une ou l'autre extrémité du trajet de brouillage est d'au moins 48,7 dB dans 96% des cas. En outre, la probabilité que le gain d'antenne dans la direction du trajet de brouillage soit proche de -3 dBi pour les antennes des deux stations terriennes est très faible – environ $(0,04)^2$ ou 0,16%; ainsi, dans le texte principal, il est suffisamment prudent de supposer que le gain hors axe est de -3 dBi à l'une des extrémités du trajet de brouillage et de -10 dBi à l'autre extrémité.

FIGURE 7

Angle entre l'axe de visée et la direction du brouillage en fonction du relèvement en azimut par rapport au nord vrai pour une station terrienne à 49° N
Satellite à la même longitude que la station terrienne

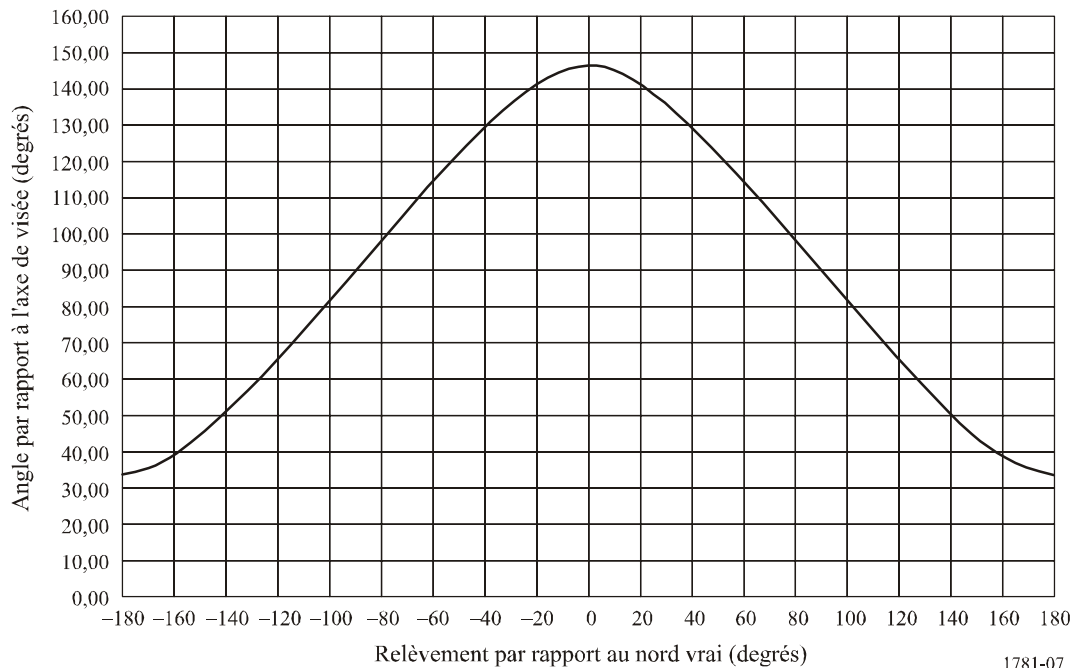
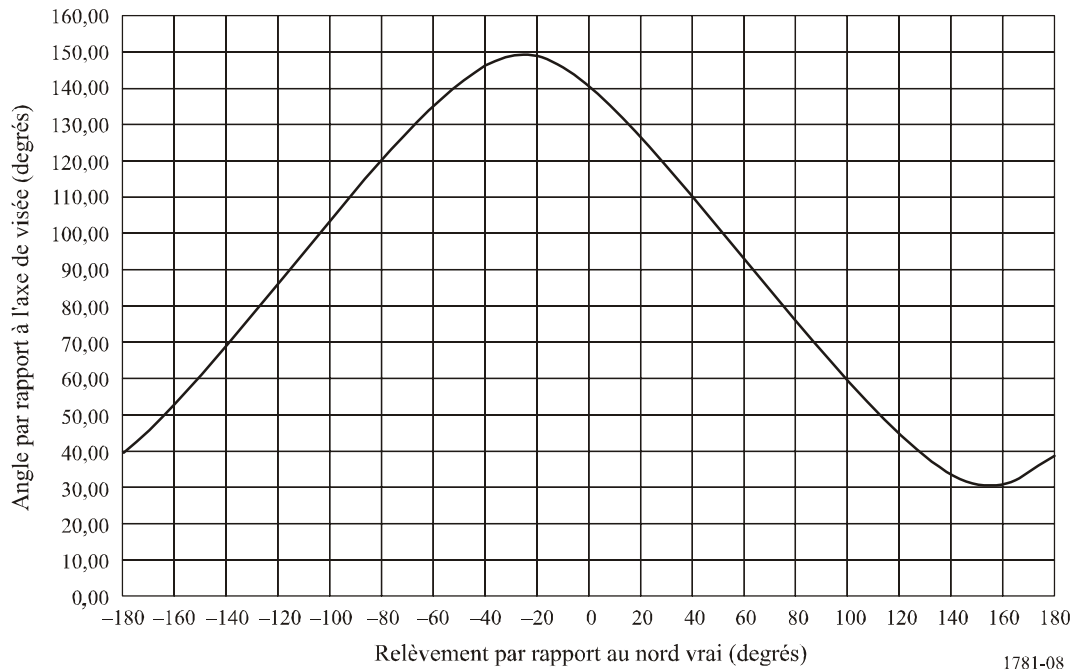


FIGURE 8

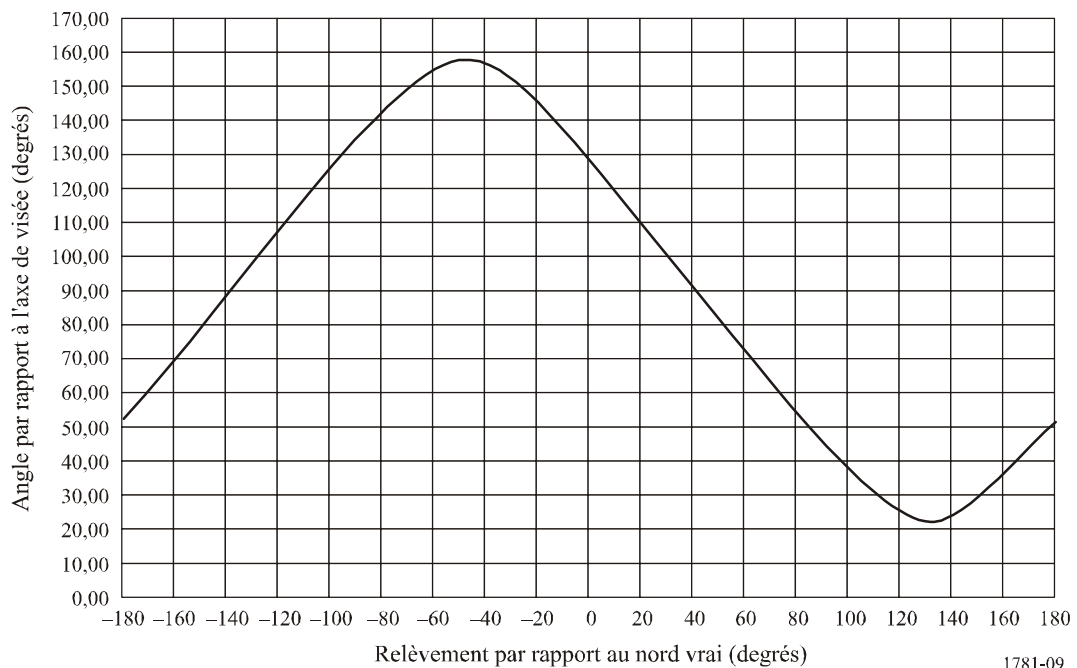
**Angle entre l'axe de visée et la direction du brouillage en fonction du relèvement en azimuth par rapport au nord vrai pour une station terrienne à 49° N
Satellite à 20° E de la station terrienne**



1781-08

FIGURE 9

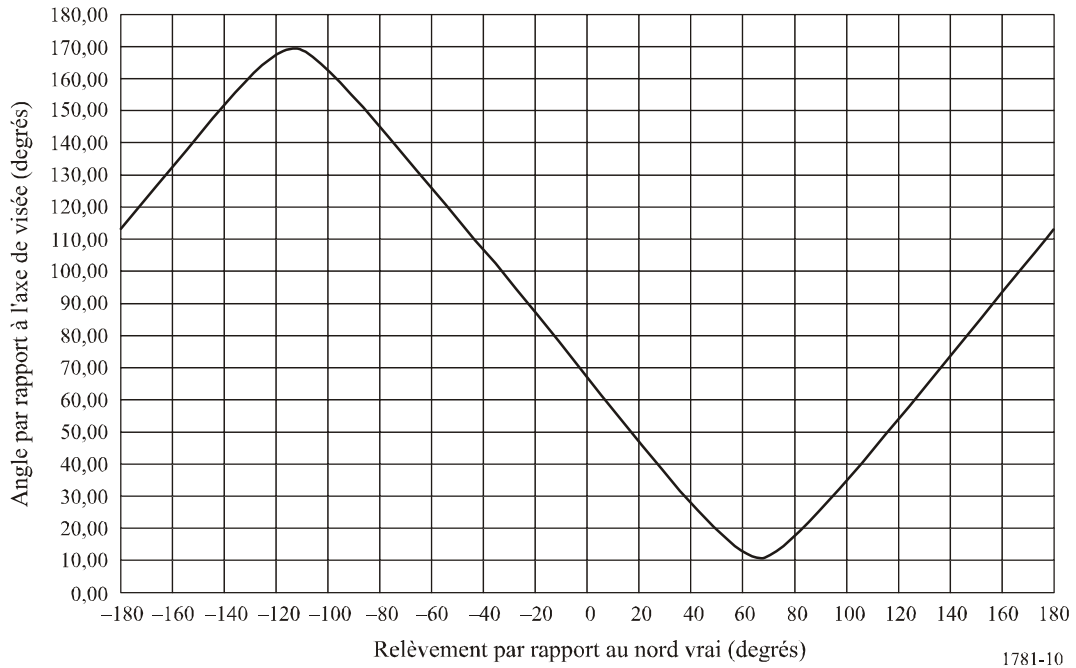
**Angle entre l'axe de visée et la direction du brouillage en fonction du relèvement en azimuth par rapport au nord vrai pour une station terrienne à 49° N
Satellite à 40° E de la station terrienne**



1781-09

FIGURE 10

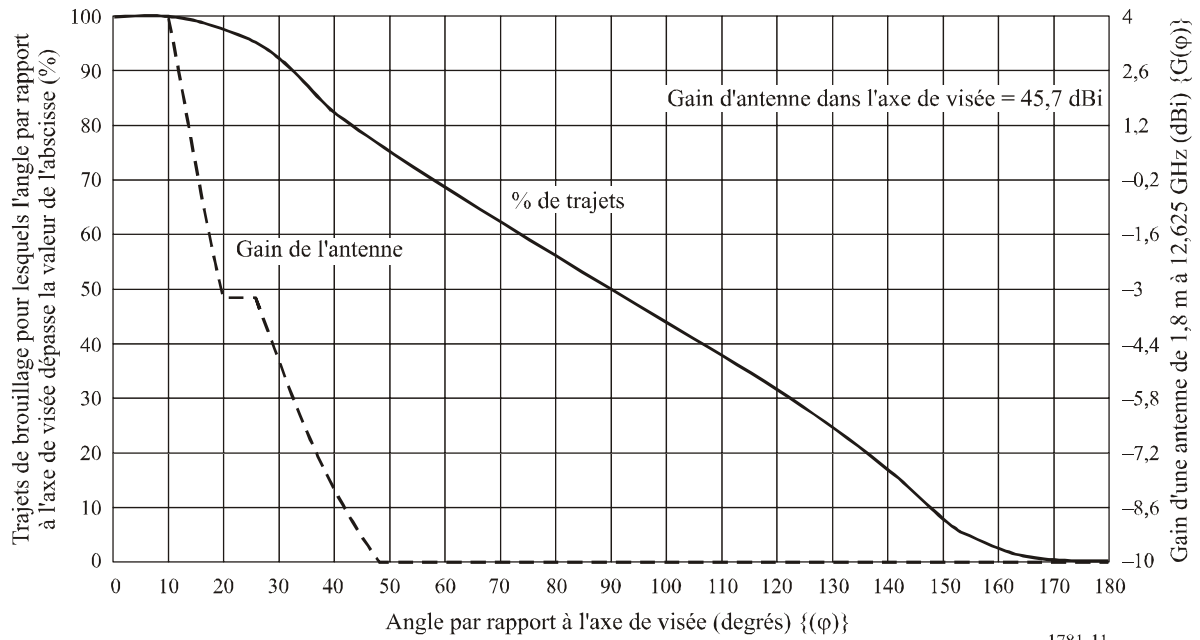
Angle entre l'axe de visée et la direction du brouillage en fonction du relèvement en azimut par rapport au nord vrai pour une station terrienne à 49° N
Satellite à 60° E de la station terrienne



1781-10

FIGURE 11

Fonction CDF des angles entre l'axe de visée et la direction du brouillage, entre des stations terriennes exploitées dans des sens de transmission opposés, et diagramme de gain hors axe de la Recommandation UIT-R S.580



1781-11