Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1459
(05/2000)

Critères de protection applicables aux systèmes de télémesure du service mobile aéronautique et techniques de réduction des brouillages propres à faciliter le partage avec les services de radiodiffusion par satellite géostationnaire et mobile par satellite géostationnaire dansles bandes de fréquences 1 452-1 525 MHz et 2 310-2 360 MHz

Série M

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

Union internationale des télécommunications

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, 2011

© UIT 2011

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.1459*, **

CRITÈRES DE PROTECTION APPLICABLES AUX SYSTÈMES DE TÉLÉMESURE DU SERVICE MOBILE AÉRONAUTIQUE ET TECHNIQUES DE RÉDUCTION DES BROUILLAGES PROPRES À FACILITER LE PARTAGE AVEC LES SERVICES DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE GÉOSTATIONNAIRE ET MOBILE PAR SATELLITE GÉOSTATIONNAIRE DANS LES BANDES DE FRÉQUENCES 1 452-1 525 MHz ET 2 310-2 360 MHz

(Question UIT-R 62/8)

(2000)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne des renseignements sur les critères de protection requis pour les systèmes de télémesure aéronautique fonctionnant dans les bandes 1 452-1 525 MHz et 2 310-2 360 MHz et sur les techniques de réduction des brouillages propres à faciliter le partage avec les systèmes géostationnaires du service de radiodiffusion par satellite et du service mobile par satellite.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) qu'en Région 2, les attributions de fréquences au service mobile aéronautique pour la télémesure ont un statut primaire dans la bande 1 435-1 525 MHz et ont priorité sur d'autres services mobiles en application du numéro S5.343 du RR;

b) que la CAMR-92 a fait une attribution additionnelle dans la bande 1 429-1 535 MHz, à titre primaire, au service mobile aéronautique pour le Bélarus, la Fédération de Russie et l'Ukraine, attribution qui doit être utilisée exclusivement pour la télémesure aéronautique, sous réserve du numéro S5.342 du RR;

c) que conformément à la décision de la CMR-95, aux Etats-Unis d'Amérique, les stations de télémesure du service mobile aéronautique ont un statut primaire dans la bande 2 300-2 390 MHz et ont la priorité sur les autres services mobiles, en application du numéro S5.394 du RR;

d) qu'au Canada, les stations de télémesure du service mobile aéronautique ont un statut primaire dans la bande 2 300-2 483,5 MHz et ont priorité sur les autres services mobiles, conformément au numéro S5.394 du RR;

e) qu'en France, les assignations de fréquence aux stations de télémesure du service mobile aéronautique ont un statut primaire dans la bande 2 310-2 360 MHz et ont priorité sur d'autres services mobiles, conformément au numéro S5.395 du RR;

f) qu'en Europe les futurs équipements de télémesure aéroportés devraient se caler essentiellement sur la bande de fréquences 2 300-2 400 MHz;

g) que la bande 1 492-1 525 MHz a été attribuée au SMS (espace vers Terre) en Région 2 compte tenu des dispositions des numéros S5.348 et S5.348A du RR;

h) que la CAMR-92 a attribué la bande 1 452-1 492 MHz à titre primaire au SRS (radiodiffusion sonore numérique (DSB)) (voir la Note 1) et au service de radiodiffusion (DSB) sous réserve des dispositions des numéros S5.345 et S5.347 du RR;

j) que la CAMR-92 a attribué, à titre primaire, aux Etats-Unis d'Amérique, en Inde et au Mexique, la bande 2 310-2 360 MHz au SRS (DSB) et au service de radiodiffusion (DSB) (attribution additionnelle), conformément au numéro S5.393 du RR;

k) que dans la bande 1 452-1 525 MHz, la CAMR-92 a accepté de faire une attribution de remplacement à titre primaire aux services fixe et mobile aux Etats-Unis d'Amérique, conformément au numéro S5.344 du RR;

---

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 6 des radiocommunications.

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications de forme à la présente Recommandation en novembre 2010.

l) qu'au Japon, dans la bande 1 492-1 525 MHz, la CMR-95 a adopté un seuil de coordination de –150 dB(W/m^2) dans une bande quelconque large de 4 kHz pour tous les angles d'incidence afin de protéger les services mobiles terrestres spécialisés, conformément au numéro S5.348A du RR;

m) qu'une coordination est requise aux termes du numéro S9.11A du RR et de la Résolution 528 (CAMR-92);

n) qu'aux termes des Résolutions 528 (CAMR-92) et 213 (Rév.CMR-95) l'UIT-R est invitée à procéder aux études nécessaires avant la prochaine CMR compétente;

o) que l'UIT-R a engagé d'autres études pour déterminer la probabilité de brouillage causé aux stations de télémesure du service mobile aéronautique qui pourrait conduire à l'adoption de valeurs de protection moins strictes et que ces études devraient se poursuivre;

p) que les caractéristiques des stations de télémesure du service mobile aéronautique sont très diverses et que, pour certaines de ces stations, les valeurs des critères de protection peuvent être moins strictes que celles indiquées dans le *recommande*,

recommande

1 de déterminer comme suit les valeurs nécessaires pour assurer la protection des systèmes de télémesure du service mobile aéronautique dans la bande 1 452-1 525 MHz utilisée en partage avec les satellites géostationnaires du SRS (DSB) ou du SMS (voir la Note 4):

– pour tout satellite géostationnaire visible par une station réceptrice de télémesure du service mobile aéronautique, la valeur de protection correspond à une valeur de puissance surfacique, relevée au niveau de la station de réception de télémesure, dans une bande quelconque de 4 kHz et pour toutes les méthodes de modulation de:

–181,0	dB(W/m^2)	pour $0° \leq \alpha \leq 4°$
$-193{,}0 + 20 \log \alpha$	dB(W/m^2)	pour $4° < \alpha \leq 20°$
$-213{,}3 + 35{,}6 \log \alpha$	dB(W/m^2)	pour $20° < \alpha \leq 60°$
–150,0	dB(W/m^2)	pour $60° < \alpha \leq 90°$

où α est l'angle d'incidence (degrés au-dessus du plan horizontal);

2 de déterminer comme suit les valeurs nécessaires pour assurer la protection des systèmes de télémesure du service mobile aéronautique dans la bande 2 310-2 360 MHz utilisée en partage avec le SRS (DSB) (voir la Note 4):

– pour tout satellite géostationnaire visible par une station réceptrice de télémesure du service mobile aéronautique, la valeur de protection correspond à une valeur de puissance surfacique, relevée au niveau de la station réceptrice de télémesure, dans une bande quelconque de 4 kHz et pour toutes les méthodes de modulation de:

–180,0	dB(W/m^2)	pour $0° \leq \alpha \leq 2°$
$-187{,}1 + 23{,}66 \log \alpha$	dB(W/m2)	pour $2° < \alpha \leq 11{,}5°$
–162	dB(W/m^2)	pour $11{,}5° < \alpha \leq 90°$

où α est l'angle d'arrivée (degrés au-dessus du plan horizontal);

3 d'utiliser éventuellement les méthodes de calcul et les techniques de réduction des brouillages indiquées dans les Annexes 1 et 2 pour déterminer la probabilité de brouillage causé aux systèmes de télémesure du service mobile aéronautique.

NOTE 1 – DSB renvoie à la radiodiffusion audionumérique, voir les numéros S5.345 et S5.393 du RR.

NOTE 2 – L'exemple de calcul utilisé pour obtenir les valeurs de protection (voir Annexe 1) correspond au cas le plus défavorable. Le recours aux techniques de réduction des brouillages (voir Annexe 2) permettra peut-être de faciliter le partage.

NOTE 3 – Etant donné que les aspects sécurité de la vie doivent être pris en ligne de compte avec les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique et qu'il semble ne pas être possible d'utiliser efficacement le spectre attribué au SRS (sonore) par la CAMR-92, l'attention est attirée sur les études actuellement menées dans le cadre de la Question UIT-R 204/10 (voir la Recommandation UIT-R BO.1383).

NOTE 4 – Les administrations sont encouragées à présenter des informations à l'UIT-R concernant les objectifs de qualité et de disponibilité pour le service mobile de télémétrie aéronautique en vue d'élaborer une Recommandation UIT-R appropriée.

ANNEXE 1

Calcul des niveaux de puissance surfacique rayonnée par des émissions de satellites géostationnaires et brouillant les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique

1 Introduction

Les analyses et résultats présentés dans les sections qui suivent sont destinés à faciliter le calcul du brouillage causé aux systèmes de télémesure du service mobile aéronautique.

2 Détermination de valeurs

On peut utiliser d'une manière générale la méthode exposée ci-après mais les valeurs numériques correspondent à la bande 1 452-1 525 MHz.

2.1 Caractéristiques des systèmes de télémesure

Les caractéristiques générales des systèmes de télémesure données dans le Rapport de la RPC à la CAMR-92 sont les suivantes. Les opérations de télémesure et de télécommande aéronautiques sont utilisées pour les essais en vol d'engins aérospatiaux habités ou non. Ces engins sont testés à leurs limites nominales, ce qui rend la sécurité des vols tributaire de la fiabilité des informations reçues en temps réel. En cas d'essais aux limites nominales, l'affaiblissement du niveau du signal peut dépasser 30 dB en raison des zéros dans le diagramme de rayonnement de l'antenne de l'aéronef causés par les variations de l'attitude de l'aéronef.

Rapport C/N requis:	9-15 dB
Puissance de l'émetteur:	2-25 W
Type de modulation:	MIC/MF
Longueur du trajet d'émission:	jusqu'à 320 km
Température de bruit du système de réception:	200-500 K
Gain de l'antenne de réception:	20-41 dB

Niveau des premiers lobes latéraux de l'antenne de réception pour deux antennes:

10 m (diamètre):	20 dBi (gain d'antenne)
	2,4° (depuis le centre)
2,44 m (diamètre):	7-14 dBi (gain d'antenne)
	10° (depuis le centre)

On utilise plusieurs diamètres d'antenne pour des gains compris entre 20 et 41 dB. On utilise la polarisation circulaire lévogyre et dextrogyre ainsi que la polarisation rectiligne.

Les assignations de canaux se font par incrément de 1 MHz. Les largeurs de bande sont de 1, 3 et 5 MHz, pour des émissions types; elles sont plus larges pour la vidéo et d'autres mesures complexes.

Le volume spatial maximal pour un site récepteur de télémesure est par définition un cylindre horizontal de 320 km de rayon autour du site, dont la limite inférieure est déterminée par la visibilité et la limite supérieure par une altitude de 20 km. Le volume spatial minimum pour une mission particulière est par définition un cylindre vertical de 20 km de rayon, compris dans les limites du volume spatial maximum, et dont les limites inférieure et supérieure sont les mêmes que celles du volume spatial maximum.

On utilise une poursuite continue RF couplée à des techniques de balayage monoimpulsion et conique.

On utilise des antennes de 2,44 m et 10 m de diamètre. La Fig. 1 donne les valeurs du gain mesurées pour trois antennes de 2,44 m. Etant donné que ces antennes suivent un engin mobile de sorte que le gain de l'antenne en direction d'un satellite géostationnaire est variable, le gain dans les lobes latéraux et les lobes arrières est dépassé ou non pendant 50% du temps. Le diagramme composite ci-après est élaboré sur cette base pour des gains d'antenne compris entre 29 dB et 41,2 dB.

$$G(\theta) = 41{,}2 + 20 \log \left(\frac{\sin 1{,}952\,\theta}{1{,}952\,\theta} \right) \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 0° \leq \theta \leq 0{,}94 \tag{1a}$$

$$G(\theta) = 35{,}1 - 20 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 0{,}94 < \theta \leq 3{,}82° \tag{1b}$$

$$G(\theta) = 29 + 20 \log \left(\frac{\sin 0{,}479\,\theta}{0{,}479\,\theta} \right) \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 3{,}82° < \theta \leq 5{,}61° \tag{1c}$$

$$G(\theta) = 27{,}27 - 18{,}75 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 5{,}61° < \theta \leq 12{,}16° \tag{1d}$$

$$G(\theta) = 34{,}05 - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 12{,}16° < \theta \leq 48° \tag{1e}$$

$$G(\theta) = -8 \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 48° < \theta \leq 180° \tag{1f}$$

Les valeurs de 1,952 et 0,479 associées à l'angle θ sont exprimées en radians.

Les antennes d'émission de télémesure sont montées sur des aéronefs et, théoriquement, sont des éléments rayonnants isotropes afin de couvrir tous les angles de rayonnement possibles en direction de la station de télémesure réceptrice. Toutefois, dans la pratique, les réflexions multiples et l'occultation imputables aux aéronefs entraînent des variations importantes du diagramme de gain. Les réflexions multiples se traduisent généralement par une distribution des évanouissements de Raleigh et les fonctions de gain mesurées ont montré que c'est approximativement le cas dans la Fig. 2. Si l'on utilise la Fig. 2 pour un cas proche du cas le plus défavorable, effets de propagation compris, la probabilité (intervalle de temps), P_1, pendant lequel un gain donné, G_1, n'est pas dépassé s'exprime comme suit:

$$P_1 (G \leq G_1) = (1 - e^{-3{,}46\, G_1})^{1{,}25} \text{ (numériques)} \tag{2}$$

On observe des distributions correspondant à un exposant de $(-5G_1)$.

Le rapport *C*/*N* reçu et la puissance de la porteuse, *C* relevée à la sortie de l'antenne réceptrice de télémesure sont proportionnels à cette fonction.

FIGURE 1

Données mesurées sur antennes de 2,44 m de diamètre

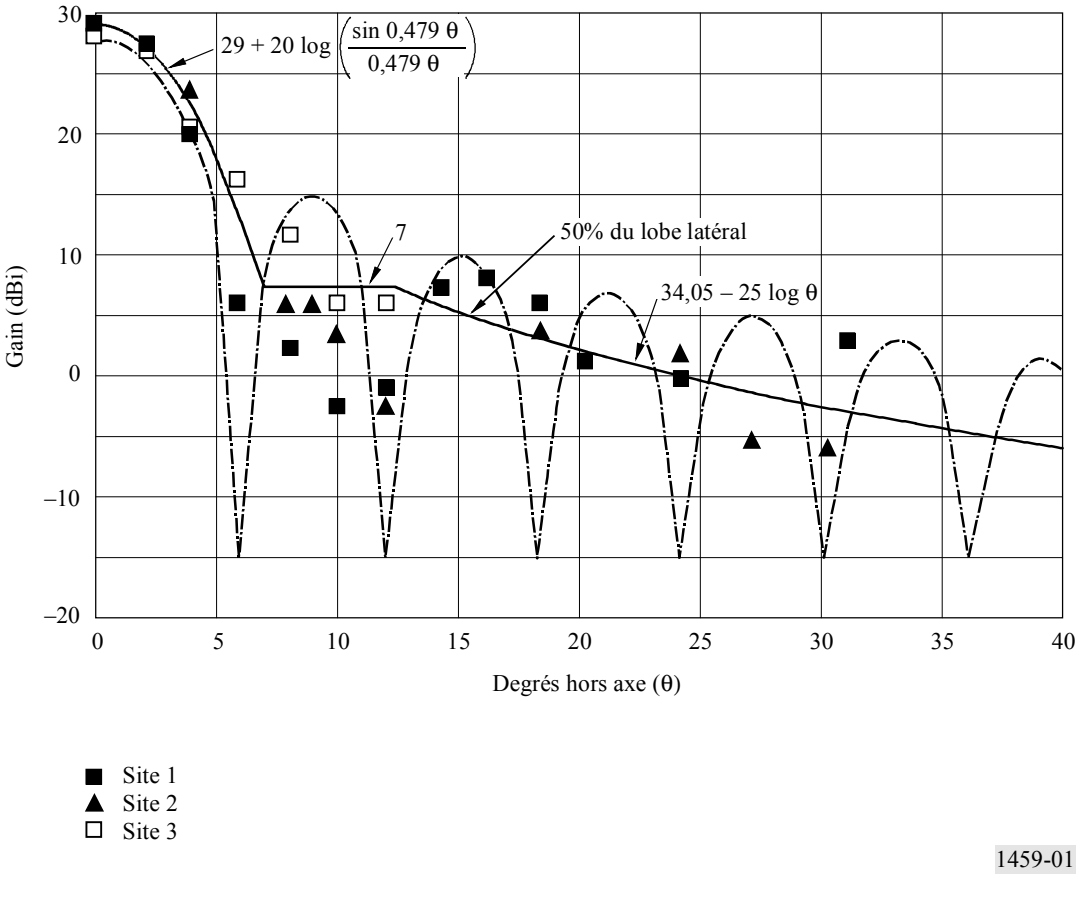
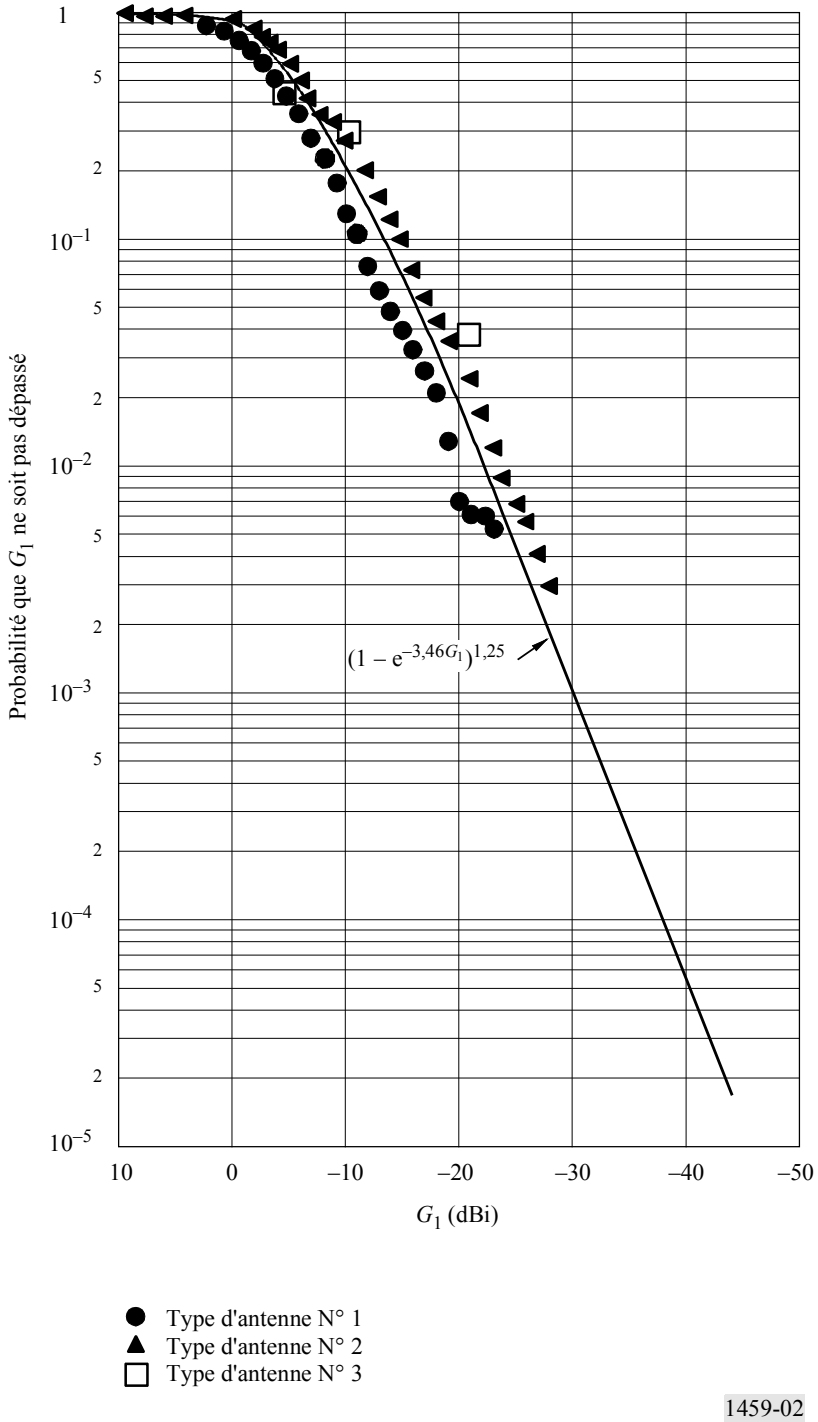


FIGURE 2

Gains d'antenne émettrice de télémesure d'aéronef, G_1



2.2 Brouillage causé par des satellites géostationnaires

2.2.1 Fonction gain-temps du brouillage

Si l'on suppose que l'antenne de télémesure peut être pointée en un point quelconque de son hémisphère de visibilité, la probabilité cumulative, P_2, qu'un satellite géostationnaire, vu depuis la station réceptrice de télémesure, se situe dans un rayon de θ est la suivante:

$$P_2 = (1 - \cos\theta) \qquad \text{for} \qquad 0 \le \theta \le \pi/2 \tag{3}$$

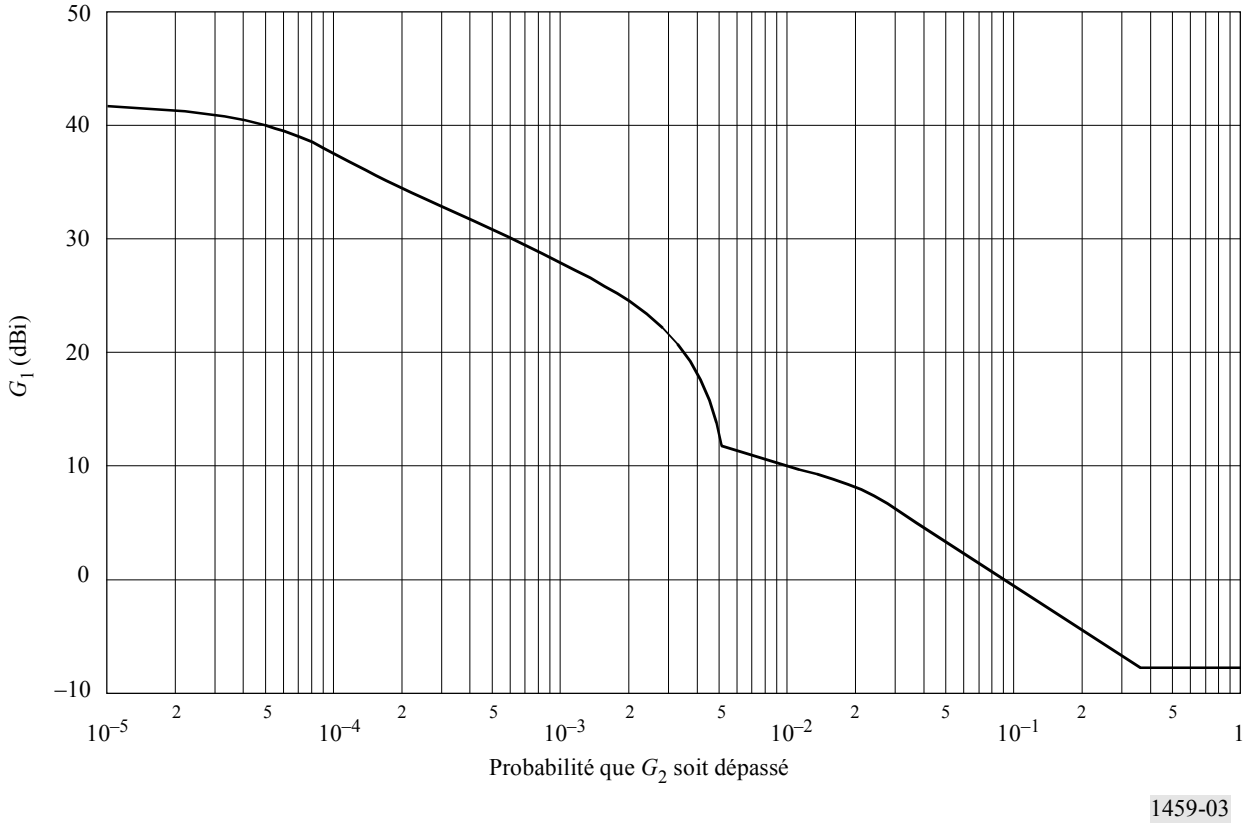
L'angle θ dans l'équation (1) est le même que celui dans l'équation (3). Ainsi, en combinant les équations (1) et (3), on peut établir des relations fonctionnelles de la probabilité (intervalle de temps) que le gain de l'antenne réceptrice de télémesure, G, en direction du satellite soit égal ou supérieur à une valeur donnée, G_2, comme indiqué dans la Fig. 3.

Le rapport I/N reçu et la puissance brouilleuse, I, sont proportionnels aux fonctions données dans la Fig. 3.

Dans le cas d'un satellite géostationnaire, l'angle d'incidence du brouillage au niveau d'une station réceptrice de télémesure est fixe. Les variations de pointage de l'antenne réceptrice de télémesure sont le seul élément aléatoire. Les essais d'aéronefs s'effectuent souvent au-dessus de l'eau ou dans des lieux inhabités pour éviter de mettre en danger la vie d'êtres humains ou des biens en cas de catastrophe avec l'aéronef soumis à l'essai, ce qui limite les angles d'azimut pour ces essais. Il y a aussi des limitations minimales aux variations de l'angle de pointage en azimut et en élévation de l'antenne de réception de télémesure qui découlent du volume spatial minimum (voir le § 2.1).

FIGURE 3

Probabilité de gain d'antenne réceptrice de télémesure, G_2



2.2.2 Analyse du rapport *C*/*I*

Etant donné que l'équation (2) est proportionnelle à C et que les fonctions de la Fig. 3 sont proportionnelles à I, il est possible de déterminer la probabilité de C/I, laquelle est proportionnelle à:

$$P((C/I) \ge (C/I)_c) \propto \left[(P_1(G' \le G_1))/(P_2(G'' \le G_2))\right] \tag{4}$$

où $(C/I)_c$ est une valeur choisie.

Les crochets indiquent la fonction de probabilité cumulative commune. Les fonctions C et I sont indépendantes puisqu'elles résultent de sources indépendantes. Les intégrations indiquées ont été effectuées pour diverses gammes limitées de valeurs de P_2 qui correspond à des zones volumiques limitées en stéradians, S, où le satellite se situe dans les limites du volume spatial minimum défini dans le § 2.1. Ces intégrations s'expriment comme suit:

$$P_3(\Delta G \geq G_2/G_1) = \left[(P_2(G'' \geq G_2))/(P_1(G' \leq G_1))\right] \tag{5}$$

Le rapport (C/I) dans l'équation (4) s'exprime normalement relativement au rapport (C/N); puisque la perte de disponibilité est la principale préoccupation, il s'exprime relativement au seuil $(C/N)_T$ comme suit:

$$(C/I) \geq (C/N)_T\,(P_4/P_3) \tag{6}$$

où:

P_4 : probabilité associée à $(C/N)_T$, fixée égale à $P(\Delta G)$

P_3 : probabilité associée à (C/I).

Le rapport (P_4/P_3) est analogue et numériquement égal au critère (I/N). L'indisponibilité admissible, P est basée sur $C/(N + I)$, de sorte que $P(\Delta G) = P - P_3$ ce qui donne:

$$P(\Delta G) = P/(I/N + 1) \tag{7}$$

Il faut maintenant rapporter ΔG à la puissance surfacique. On détermine tout d'abord une valeur de la puissance surfacique lorsque l'antenne de télémesure est pointée en direction du satellite:

$$pfd \leq \frac{k\,T\,B(I/N)}{(\lambda^2/4\pi)\,G_0} \qquad \text{W/(m}^2 \cdot B) \tag{8}$$

où:

k : constante de Boltzmann

T : température de bruit (K)

B : largeur de bande (Hz)

$G_0 = 13\ 183$ (41,2 dB).

Cette puissance surfacique est associée avec un $(\Delta G)_m$ à un $P(\Delta G)$. A G_0, seul C est variable; par conséquent, C/I est donné par l'équation (2). Une bonne approximation de la fonction $(\Delta G)_m$ est donnée par la formule suivante:

$$(\Delta G)_m = 45\ 000/P(\Delta G)^{1,25} \tag{9}$$

On peut augmenter la puissance surfacique obtenue à l'équation (8) de $(\Delta G)_m/(\Delta G)$. Ainsi:

$$pfd \leq \frac{k\,T\,B(I/N)}{G_0(\lambda^2/4\pi)} \times \frac{(\Delta G)_m}{(\Delta G)} \qquad P(\Delta G)_m = P(\Delta G) \qquad \text{W/(m}^2 \cdot B) \tag{10}$$

2.2.3 Incidence sur la conception des liaisons de télémesure

Des analyses montrent que la valeur de P, indisponibilité d'une liaison de télémesure, n'influe pas de façon significative sur les valeurs de puissance surfacique. Ces valeurs dépendent essentiellement de la valeur du rapport I/N. L'incidence sur une liaison de télémesure, mesurée en termes de baisse de la portée utile, R, pour une valeur donnée de P, en fonction de I/N peut être déterminée à partir de l'équation (7), puisque $R^2 \propto 1/(N + \mathrm{I})$ pour une puissance d'émetteur fixe. La diminution de la portée utile en fonction de I/N est illustrée dans la Fig. 4. L'incidence sur la conception des liaisons de télémesure est plus importante pour des valeurs de I/N supérieures à un (0 dB) car les liaisons doivent être conçues de façon à surmonter le problème du brouillage et non celui du bruit interne. La valeur concrète maximale est d'environ 0,5 (–3 dB) avec les valeurs plus faibles souhaitées.

2.2.4 Tolérances de brouillage

Compte tenu des éléments donnés dans le § 2.2.3, les tolérances cumulatives suivantes semblent convenir pour le cas qui nous intéresse. Le bruit total est la somme du bruit interne, N_I, du brouillage imputable aux satellites, I_S, et du brouillage causé par des sources de Terre, I_T. Le brouillage admissible cumulatif imputable aux satellites et aux sources de Terre est le suivant:

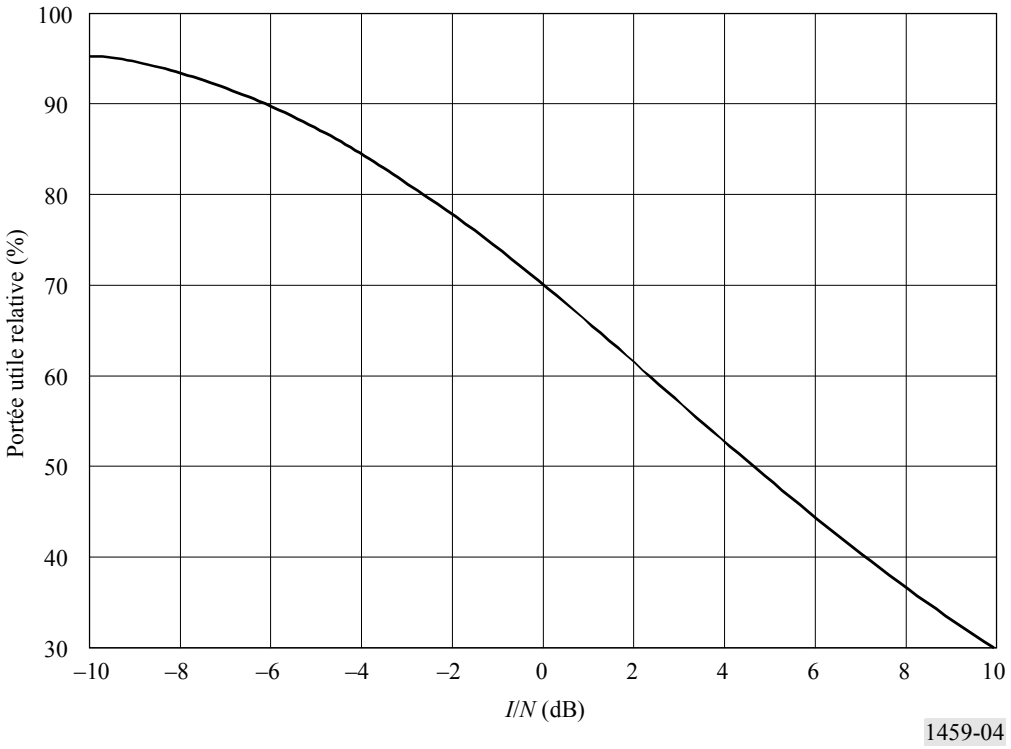
$$I_S = 0{,}25\,(N_I + I_S + I_T) \tag{11}$$

$$I_T = 0{,}10\,(N_I + I_S + I_T) \tag{12}$$

Il découle des équations précédentes que le rapport cumulatif admissible I/N est de 0,3846 ou –4,15 dB (brouillage imputable aux satellites) et de 0,1538 ou –8,13 dB (brouillage imputable aux sources de Terre). Etant donné que la puissance surfacique n'est pas particulièrement sensible à P, on choisit une valeur à mi-portée de P de 0,005 pour une évaluation numérique, ce qui donne avec l'équation (7) une valeur de $P(\Delta G)$ de 0,003611.

FIGURE 4

Diminution de la portée utile en fonction de *I/N*



2.2.5 Valeur minimum de *S* en fonction de l'angle d'incidence, α

On peut déterminer la valeur minimum de S à partir du rayon minimum d'un cercle dans lequel les essais d'aéronef sont normalement réalisés (voir Fig. 5). On détermine S en fonction de α comme suit. L'angle d'incidence en élévation est:

$$\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{h}{d} - \frac{d}{2r}\right) \quad \text{rad} \tag{13}$$

L'angle d'incidence incrémentiel, Δα, le long de l'azimut de pointage de l'antenne de télémesure est:

$$\Delta\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{h}{d-a} - \frac{d-a}{2r}\right) - \text{tg}^{-1}\left(\frac{h}{d+a} - \frac{d+a}{2r}\right) \quad \text{pour } d \geq a \quad \text{rad} \tag{14a}$$

$$\Delta\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{d+a}{h}\right) - \text{tg}^{-1}\left(\frac{d-a}{h}\right) \quad \text{pour } d < a \quad \text{rad} \tag{14b}$$

L'angle tangent à l'azimut, β, est:

$$\beta = 2\,\mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{a\cos\alpha}{d}\right) \quad \text{rad} \tag{15}$$

A partir de quoi on obtient *S*:

$$S = \pi/4\,(\beta)\,(\Delta\alpha) \quad \text{stéradians} \tag{16}$$

où:

h: altitude de l'aéronef = 20 km

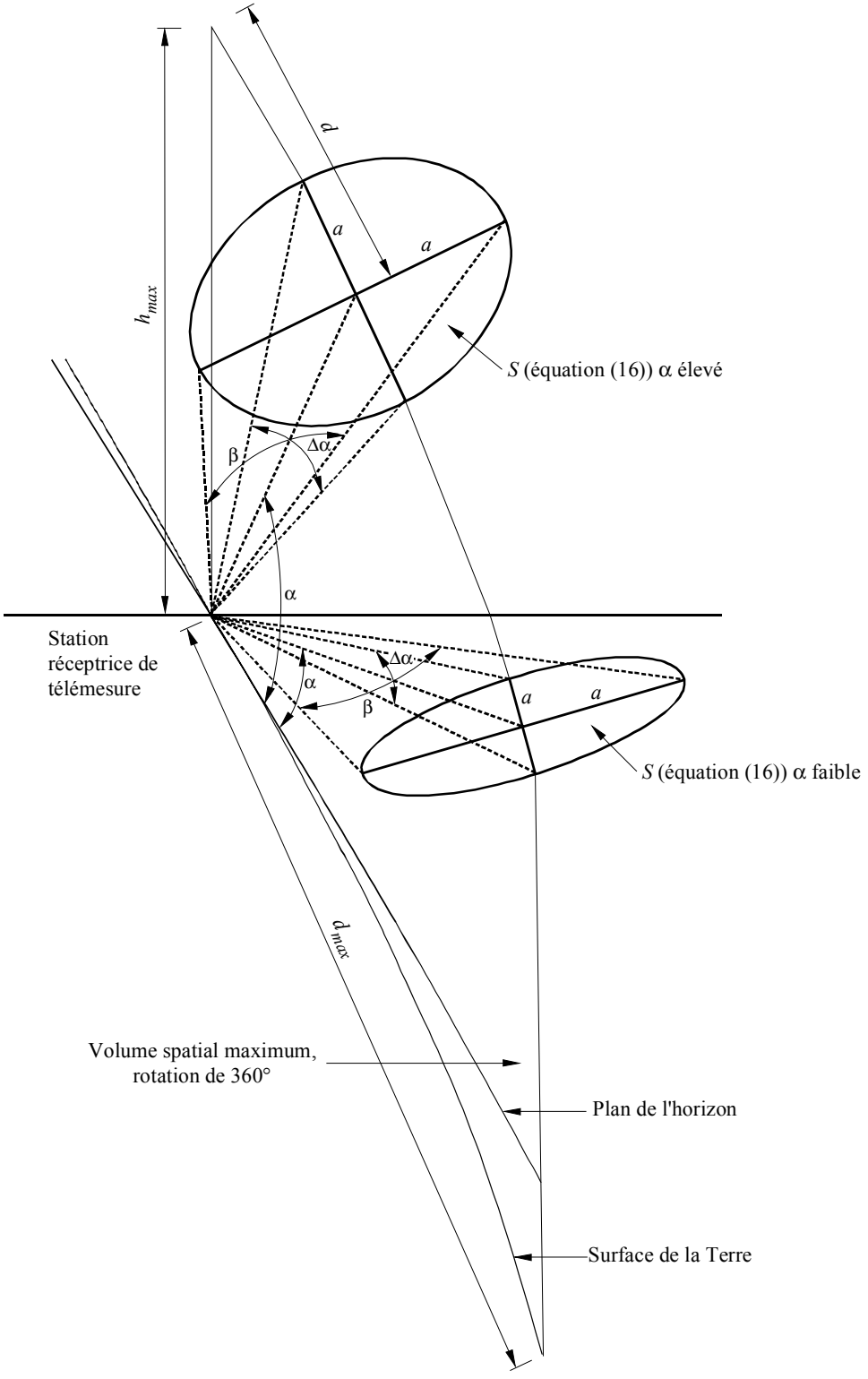
d: distance de l'aéronef par rapport à la surface 320 km (au maximum)

r: rayon de la Terre = 6 378 km

a: rayon minimum de la trajectoire de vol = 20 km.

FIGURE 5

Géométrie pour les calculs de *S* dans le cas de satellites géostationnaires



β (équation (15))
Δα (équation (14))
α (équation (13))

1459-05

2.2.6 Puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence

– Augmentation de la puissance surfacique due à S

La puissance surfacique admissible augmente en fonction de S qui, à son tour, augmente en fonction de l'angle d'incidence α. On peut calculer la puissance surfacique en fonction de S à l'aide de l'équation (16), à laquelle on associe les fonctions $(\Delta G)/(S)$ élaborées au § 2.2.5 pour $P(\Delta G) = 0{,}003611$, valeur qui à son tour est utilisée dans l'équation (10). La valeur minimum de S est de 0,001262 stéradians.

– Augmentation de la puissance surfacique due à une marge excédentaire

Il existera une distance, d_0, entre la station réceptrice de télémesure et l'aéronef à laquelle la disponibilité souhaitée est généralement dépassée. On dispose donc d'une marge excédentaire qui pourrait être utilisée pour augmenter la puissance surfacique admissible. On peut déterminer comme suit la valeur de d_0:

$$d_0 = \left\{ \frac{P\, G_a\, G_0}{1\,758\, k\, T\, B\, M\, f^2 (C/N)_T} \right\}^{0,5} \quad \text{km} \tag{17}$$

où:

P: puissance de l'aéronef (W) = 4

G_a: gain d'antenne médian de l'aéronef = 0,2

G_0: gain de l'antenne réceptrice de télémesure = 800

M: marge de disponibilité requise = 300

f: fréquence (MHz) = 1 500

k: constante de Boltzmann

T: température de bruit (K) = 250

B: largeur de bande (Hz) = 3×10^6

$(C/N)_T$: valeur seuil = 32.

Les valeurs nominales de chaque paramètre énumérées ci-dessus sont considérées comme les mieux indiquées pour déterminer d_0. Avec l'équation (17) on obtient avec ces valeurs une distance d_0 de 40 km.

L'angle d'incidence α est déterminé par la distance, d et l'altitude de l'aéronef, h, et s'exprime comme suit:

$$\alpha = \arcsin (h/d) \tag{18}$$

On peut déterminer à partir de l'équation (18), α en fonction de d, pour des valeurs de d comprises entre d_0 et h. La marge excédentaire, M_e, qui peut être utilisée pour augmenter la puissance surfacique est:

$$M_e = (d_0 / d)^2 \tag{19}$$

On part de l'hypothèse que la valeur maximale de h est de 20 km. A l'aide de ces valeurs, on calcule M_e en fonction de α. Une formulation exacte de cette fonction peut être exprimée comme facteur d'augmentation de la puissance surfacique, pfd_e, comme suit:

$$pfd_e = 1 \quad \text{pour} \quad 0° \leq \alpha \leq 30° \tag{20a}$$

$$pfd_e = 1 + 0{,}066\,(\alpha - 30) \quad \text{pour} \quad 30° < \alpha \leq 62{,}5° \tag{20b}$$

$$pfd_e = 4 \sin^2 \alpha \quad \text{pour} \quad 62{,}5° < \alpha \leq 90° \tag{20c}$$

2.2.7 Sources de brouillage multiples

Lorsque la valeur de S est très faible, le brouillage dans les lobes latéraux et dans les lobes arrières causé par des satellites OSG sera insignifiant par rapport au brouillage dans les lobes principaux. Au fur et à mesure que S augmente, les niveaux de brouillage dans les lobes latéraux et dans les lobes arrières deviennent statistiquement significatifs et sont pris en considération satellite par satellite (voir § 2.2.1). Par conséquent, les sources de brouillage multiples sont essentiellement rapportées au nombre de satellites géostationnaires se trouvant dans la zone de couverture limitée (stéradians) de l'antenne de télémesure, S.

On suppose premièrement qu'une zone, S', est circulaire et que son diamètre, δ, est aligné sur l'OSG et deuxièmement, qu'il y a N satellites séparés également les uns les autres par un angle Δ, chacun rayonnant la même puissance surfacique au niveau de l'antenne de télémesure.

Lorsque δ est égal à Δ, deux sources de brouillage sont possibles mais la probabilité est proche de 0. Lorsque δ est égal à 2Δ, la probabilité de deux sources de brouillage est proche de 1, la probabilité de trois sources de brouillage est proche de 0, etc. Ainsi, pour une probabilité d'environ 0,5:

$$\delta = (N - 0{,}5)\Delta\delta \text{ et } \Delta, \text{ degrés} \qquad (21)$$

La zone S' est:

$$S' = (\pi/4)\,\delta^2 \qquad \text{stéradians} \qquad \delta, \text{ rad} \qquad (22)$$

A partir de ce modèle, on obtient une approximation proche de N:

$$N = 70(S')^{0,5}/\Delta \quad \text{pour} \quad \Delta^2/4\,900 \leq S' \leq 1{,}938 \qquad (23)$$

Etant donné que $N \geq 1$, $S' \geq \Delta^2/4\,900$ et que la valeur minimum «maximale» de S (voir § 2.2.5) est de 1,938, N dans l'équation (23) est limité à cette fourchette. N est donc limité à la fourchette; $1 \leq N \leq ((90/\Delta) + 0{,}5)$.

La relation entre l'augmentation de la puissance surfacique pour une seule source de brouillage, pfd_{es}, et l'augmentation de la puissance surfacique globale, pfd_{ea}, est donnée par la formule suivante:

$$pfd_{es} = pfd_{ea}/N \qquad (24)$$

2.3 Valeurs de puissance surfacique pour une seule source de brouillage

A partir des analyses précédentes, on peut obtenir des valeurs de puissance surfacique pour une seule source de brouillage. Les valeurs de puissance surfacique pour une seule source de brouillage élaborées dans les paragraphes suivants s'appliquent aux systèmes de télémesure du service mobile aéronautique. Les valeurs de paramètre des systèmes de télémesure sont les suivants:

T: température de bruit de la station de réception = 250 K

B: largeur de bande de référence = 4 kHz

λ: longueur d'onde = 0,2 m

I/N: brouillage/bruit = 0,3846

$P(\Delta G)$: probabilité de gain différentiel = 0,003611.

En utilisant conjointement ces valeurs et la fonction ΔG en fonction de S, la marge excédentaire et le facteur pour plusieurs sources de brouillage pour une valeur de Δ de 45°, donnent la fonction illustrée dans la Fig. 6. Comme le montre également la Fig. 6, une bonne approximation de la puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence est donnée par la formule:

$$pfd \leq -181{,}0 \qquad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{4 kHz))} \qquad \text{pour} \quad 0° \leq \alpha \leq 4° \qquad (25a)$$

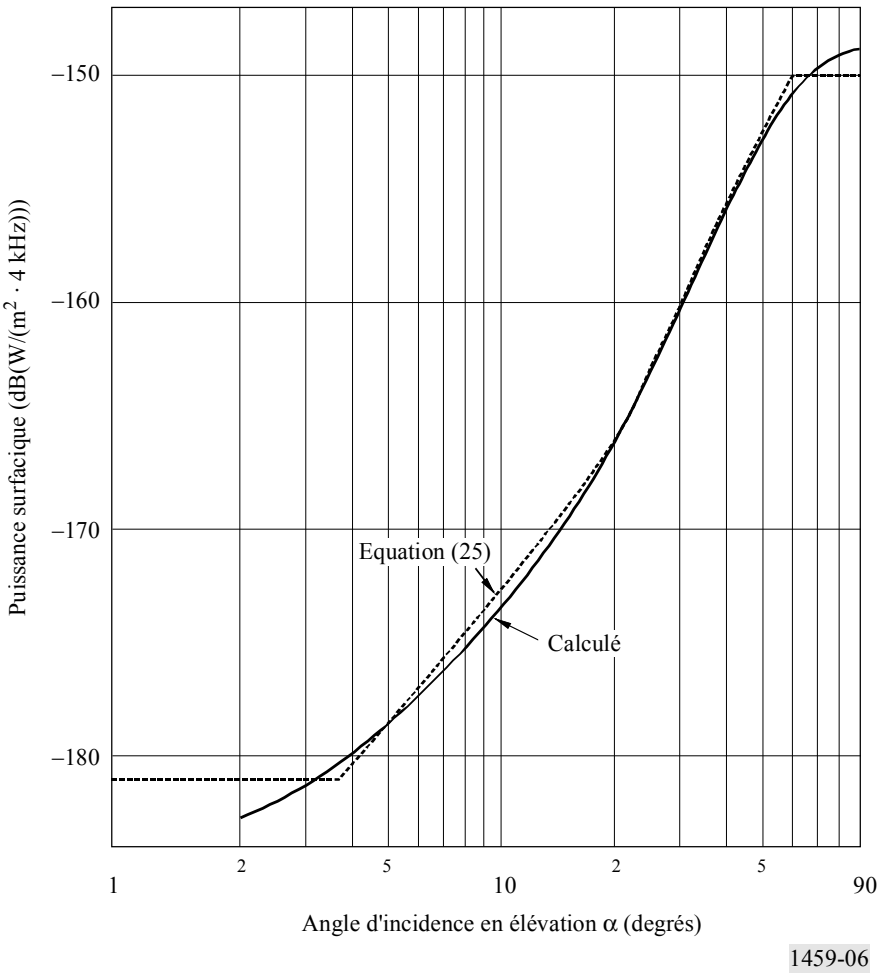
$$pfd \leq -193{,}0 + 20 \log \alpha \qquad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{4 kHz))} \qquad \text{pour} \quad 4° < \alpha \leq 20° \qquad (25b)$$

$$pfd \leq -213{,}3 + 35{,}6 \log \alpha \qquad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{4 kHz))} \qquad \text{pour} \quad 20° < \alpha \leq 60° \qquad (25c)$$

$$pfd \leq -150 \qquad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{4 kHz))} \qquad \text{pour} \quad 60° < \alpha \leq 90° \qquad (25d)$$

FIGURE 6

Seuils pour une seule source de brouillage applicables à des stations réceptrices de télémesure aéronautique (brouillage causé par des satellites géostationnaires)



ANNEXE 2

Techniques de réduction des brouillages

1 Techniques de réduction des brouillages pour des systèmes de télémesure du service mobile aéronautique

Il convient d'étudier les techniques de réduction des brouillages suivantes et de les utiliser dans la mesure du possible pour assurer le partage avec le SRS (sonore).

1.1 Evitement de fréquence

Si possible, éviter d'utiliser les portions des bandes de fréquences affectées. Dans le cas de sites de télémesure isolés (pas de chevauchement entre le volume spatial et un autre site), et pour un calendrier d'essais peu chargé, il est possible d'éviter d'utiliser les portions des bandes attribuées au SRS (sonore). Lorsqu'il y a beaucoup de chevauchements de couverture de site et d'essais simultanés, il se peut qu'il ne soit pas possible de pratiquer l'évitement de fréquence.

1.2 Discrimination de polarisation

Dans les cas où il est possible pour les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique d'utiliser des polarisations opposées à celles utilisées par les systèmes du SRS (sonore), on peut alors réaliser une certaine discrimination de polarisation dans le scénario de brouillage le plus défavorable. Lorsque les axes de visée de l'antenne d'émission du SRS (sonore) et de l'antenne de réception de télémesure sont pratiquement alignés.

1.3 Considérations relatives à la modulation et à la largeur de bande

Les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique qui passent au tout numérique utilisent plusieurs types de modulations et de largeurs de bande. L'utilisation de la modulation numérique facilitera l'utilisation des techniques de codage avec correction d'erreur directe, lesquelles assurent une plus grande immunité vis-à-vis des brouillages du SRS (sonore) ou un gain de codage élevé. Par ailleurs, le signal du SRS (sonore) brouilleur étant numérique, le brouillage causé au signal de télémesure sera assimilable à du bruit.

Les puissances surfaciques sont actuellement spécifiées dans une largeur de bande de 4 kHz à ces fréquences. Lorsque le signal brouillé est analogique ou numérique, limiter les niveaux de brouillage dans une largeur de bande aussi étroite peut conduire à l'adoption de critères de protection excessifs. L'utilisation de largeurs de bande moyennes mieux adaptées pour des situations de brouillage particulières peut refléter plus exactement les besoins de protection. En l'occurrence, une largeur de bande moyenne de 400 kHz peut être utilisée.

1.4 Diversité d'antenne d'émission de télémesure à bord d'aéronefs

La disponibilité du signal est un paramètre important pour les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique. Les manœuvres des aéronefs d'essai peuvent se traduire par d'importants évanouissements du signal de réception de télémesure qui obéissent à une distribution de Rayleigh. Lorsqu'il est possible de disposer plusieurs antennes d'émission le long du fuselage de l'aéronef d'essai, la diversité d'antennes d'émission ainsi obtenue pourrait contribuer à réduire de façon importante l'évanouissement du signal.

1.5 Diversité de site de télémesure

Certains polygones d'essai de télémesure du service mobile aéronautique utilisent deux ou plus de deux antennes de réception. Si ces antennes peuvent être disposées de façon à assurer une diversité de site/d'espace, on pourrait obtenir une réduction importante de l'évanouissement du signal de Rayleigh. Par ailleurs, si les antennes de réception sont correctement espacées, on pourra éviter des scénarios de brouillage axe de visée-axe de visée et axe de visée-soleil, ce qui améliorera encore la disponibilité des signaux de télémesure et le partage. La combinaison de la diversité de fréquence et de la diversité de site permettrait de réduire encore davantage les marges de protection contre les évanouissements.

1.6 Géométrie des polygones d'essai des systèmes de télémesure aéronautique

Dans la plupart des situations de brouillage, les scénarios axe de visée-axe de visée correspondront au cas de brouillage le plus défavorable. Si les mesures correctives décrites précédemment ne sont pas viables ou suffisantes, on peut choisir pour les aéronefs d'essai un trajet de vol qui évite les azimuts les plus critiques correspondant à une quasi-conjonction des axes de visée et éviter les petits angles d'élévation. La configuration particulière et le degré de réussite dépendront de la position spatiale de l'antenne réceptrice de télémesure d'essai par rapport à l'émetteur brouilleur du SRS (sonore).

Pour les systèmes de télémesure du service mobile aéronautique la technique de réduction des brouillages la plus efficace consisterait peut-être d'éviter les conjonctions des lobes principaux de l'antenne de télémesure avec les satellites géostationnaires. Ce cas a été analysé pour la bande 1 452-1 525 MHz et, selon les estimations, on pourrait réaliser une protection supplémentaire de 20 dB pour de très petits angles d'incidence (jusqu'à environ 5 dB) à proximité du zénith. La mesure dans laquelle cette technique peut être utilisée dépend de la géométrie des polygones d'essai et des trajectoires de vol, paramètres qui pour l'instant ne sont pas connus.

1.7 Techniques d'annulation des brouillages des récepteurs de télémesure aéronautique

On utilise régulièrement des techniques de suppression active des brouillages dans les systèmes radioélectriques du SFS et du service fixe à double polarisation ainsi que dans les cas nombreux où des problèmes particuliers de partage se posent. Selon la dynamique des évanouissements on peut annuler une partie importante des brouillages. Ces techniques pourraient permettre d'améliorer les situations de brouillage.

1.8 Evaluation générale du partage

Même dans les conditions géométriques les plus favorables, avec des techniques de réduction des brouillages, il est très peu probable qu'il puisse y avoir partage en configuration même couverture, même fréquence, étant donné que la puissance surfacique requise pour le SRS (sonore) va jusqu'à –122 dB(W/m^2 · 4 kHz)).

Toutefois, dans des conditions géométriques favorables et lorsqu'il est possible de réaliser une discrimination d'antenne du satellite du SRS (sonore) vis-à-vis des antennes réceptrice de télémesure de l'ordre de 30 dB, on peut raisonnablement penser que le partage est possible entre systèmes à faible puissance, par exemple de l'ordre –138 dB(W/m^2 · 4 kHz)). Toutefois, cette valeur n'est pas typique pour les systèmes du SRS (sonore).

2 Techniques de réduction des brouillages pour faciliter le partage avec les systèmes du SRS (DSB)

2.1 Systèmes du SRS (sonore)

On part normalement de l'hypothèse que l'on a plus de souplesse dans le choix des paramètres d'exploitation pour les nouveaux systèmes au stade de la planification ou au début de la mise en œuvre, ce qui facilitera le partage avec les services existants. On trouvera ci-après une liste des techniques possibles de réduction des brouillages considérées comme applicables au SRS (sonore) pour faciliter le partage. Les résultats des différentes études de l'UIT-R concordent avec les vues énoncées ci-après concernant la faisabilité et l'application de ces techniques de réduction des brouillages.

2.2 Choix de la position orbitale

Le choix de positions orbitales réduisant au maximum l'exposition et le débordement dans des sites critiques du service mobile de télémesure aéronautique (MAT, *mobile aeronautical telemetry*) est une technique possible de réduction des brouillages. L'UIT-R considère qu'il serait très difficile de choisir des positions orbitales permettant de minimiser l'exposition pour les services affectés. On attend du SRS (sonore) qu'il offre un service mondial et les pays qui utilisent des systèmes MAT sont dispersés aux quatre coins du monde de sorte qu'il est impossible de ne pas illuminer un ou plusieurs d'entre eux. Par ailleurs, dans de nombreux cas il y a des contraintes qui pèsent sur le choix des positions orbitales disponibles pour offrir un service SRS (sonore) viable. L'UIT-R ne pense donc pas que cette technique puisse offrir des avantages importants.

2.3 Modulation et mise en œuvre

Ceci suppose l'utilisation de techniques de modulation et de codage des canaux efficaces ainsi que de techniques de diversité de trajet et minimise les impératifs au niveau de la puissance surfacique nécessaire pour obtenir le niveau souhaité de qualité de fonctionnement et de disponibilité des systèmes.

Concernant ces techniques, l'UIT-R a recherché activement des techniques de modulation et de codage des canaux efficaces. De fait, les travaux examinés à l'UIT-R ces dernières années ont été novateurs et ont permis de prendre en considération des systèmes à grande efficacité spectrale. Il est peu probable que de nouvelles améliorations conduisent à des réductions importantes des niveaux de puissance surfacique nécessaires et donc améliorent les scénarios de partage.

2.4 Etalement de spectre

Utiliser des techniques d'étalement de spectre permet de réduire la puissance surfacique de l'inverse du rapport d'étalement (largeur de bande étalée/largeur de bande non étalée) et accroît l'immunité au brouillage du rapport d'étalement.

L'UIT-R considère que pour que l'étalement de spectre puisse améliorer le partage il faut que suffisamment de spectre ait été attribué au service pour pouvoir étaler l'énergie du signal brouilleur sur une grande largeur de bande pour réaliser une réduction correspondante de la puissance surfacique par unité de largeur de bande, en l'occurrence 4 kHz. Par ailleurs, pour maximiser cet avantage, chaque service SRS (sonore) brouilleur devrait utiliser des bandes de fréquences exclusives (pas de chevauchement des canaux à étalement de spectre). Compte tenu du fait que la CAMR-92 a attribué une portion de spectre relativement étroite au SRS (sonore) et qu'en outre ces bandes de fréquences sont utilisées en partage avec le service de radiodiffusion (sonore), l'étalement de spectre n'est pas une technique de réduction des brouillages possible pour permettre le partage, ce qu'illustre l'exemple suivant:

Il apparaît que pour permettre le partage il faudrait accroître le niveau de puissance surfacique de plus de 30 dB. Or, pour obtenir un accroissement ne serait-ce que de 20 dB avec des techniques d'étalement de spectre, il faudrait, en utilisant des systèmes d'étalement normaux de pseudo-bruit, disposer d'un gain d'étalement d'environ 100, ce qui suppose d'utiliser un facteur d'étalement de 100. Etant donné que la bande attribuée au SRS à 1,5 GHz est large de 40 MHz et qu'elle sera, à terme, totalement utilisée, il faudrait 4 GHz de spectre pour le SRS si l'on adopte des techniques à étalement de spectre.

2.5 Qualité de fonctionnement du récepteur

Une solution possible de réduction des brouillages consiste à maximiser le facteur de qualité, G/T, du récepteur en utilisant des processeurs frontaux à faible bruit et des antennes à gain maximal conformes aux coûts et au type de service offert.

L'UIT-R considère que la technologie des dispositifs RF s'est améliorée au point que le processeur frontal à faible bruit n'est plus le facteur limitatif lors de l'établissement du bilan de bruit du récepteur. Les facteurs de bruit du récepteur type pris en considération se situent entre 1 et 3 dB. Comme d'autres sources de bruit - rayonnements provenant d'objets au sol, dans le ciel, ou d'objets environnants, affaiblissement de filtrage à l'entrée - interviennent pour une part importante dans le bilan de bruit global du récepteur, on peut de moins en moins considérer que la réduction du facteur de bruit du récepteur est une technique efficace de réduction des brouillages. Il est possible d'améliorer le gain de l'antenne et nous avons adopté cette formule pour essayer de trouver des solutions rentables. Toutefois, nous ne pouvons pas aller très loin dans cette direction puisque nous essayons de desservir des récepteurs mobiles et portables et d'offrir un système qui puisse être mis en œuvre à un prix à la portée de tous. Par conséquent, il serait difficile d'améliorer de façon significative le partage en améliorant éventuellement le facteur G/T du récepteur.

2.6 Antenne d'émission du satellite et zone de couverture

Cette technique de réduction des brouillage consiste à minimiser le débordement du faisceau du satellite en utilisant un modelage des faisceaux pour l'adapter le plus possible à la zone que l'on souhaite desservir.

De l'avis de l'UIT-R toutes les propositions concernant les satellites SRS (sonore) prennent les techniques d'antenne en ligne de compte. La taille de l'antenne et la nécessité de minimiser le débordement pour utiliser efficacement le spectre attribué au SRS (sonore) signifient que le modelage des faisceaux est déjà pleinement optimisé. Par ailleurs, le modelage des faisceaux se traduira par une décroissance plus rapide à proximité des niveaux des lobes latéraux (par exemple premier lobe latéral) ce qui facilite le partage avec des services à proximité du bord de la zone de couverture, et ces techniques n'améliorent pas les niveaux des lobes latéraux d'ordre supérieur et donc n'amélioreront pas le partage pour des systèmes plus éloignés du bord de la zone de couverture, là où les angles d'élévation sont faibles ce qui suppose des niveaux de puissance surfacique minimaux.

2.7 Systèmes sur orbite elliptique fortement inclinée (HEO, highly-inclined elliptical orbit) du SRS (sonore)

Pour les systèmes HEO, une des techniques de réduction des brouillages possibles consiste à choisir des constellations de positions orbitales qui maximisent les angles d'élévation vers les sites MAT affectés et qui permettent de mettre à disposition des opérateurs de systèmes MAT les éphémérides disponibles (informations spatiales et temporelles sur les orbites).

De l'avis de l'UIT-R, compte tenu du fait qu'un nombre important de pays utilisent des systèmes fixes et que les informations concernant l'emplacement de ces systèmes sont incomplètes, il est peu probable que l'on puisse obtenir une amélioration majeure pour les systèmes HEO en dehors de celle déjà obtenue dans l'intérêt du service de radiodiffusion.

2.8 Evitement de fréquence

Il s'agit de choisir, si possible, la partie du spectre attribuée au SRS (sonore) la moins utilisée par les systèmes MAT.

De l'avis de l'UIT-R, cette technique de réduction des brouillages, s'il est vrai qu'elle ne représente pas au sens propre une technique de partage, apparaît être la seule qui puisse être concrètement exploitée. L'UIT-R est bien conscient que les systèmes MAT qui occupent une partie de cette bande sont des systèmes critiques pour la sécurité de la vie. Il apparaîtrait donc raisonnable que, à supposer que cela soit possible, ces éléments du service MAT occupent la partie du spectre non occupée par le SRS. Il serait raisonnable de demander la protection de cette partie du service aux niveaux proposés.

Les conclusions générales de l'UIT-R concernant les techniques de réduction de brouillage, susmentionnées, à appliquer au SRS (sonore) sont que, à l'exception de la technique d'évitement de fréquence, la somme des améliorations qu'il est possible de tirer de l'application de ces techniques ne sera pas tout à fait suffisante pour permettre le partage. Cela étant,

l'UIT-R considère que toute amélioration du partage que pourrait apporter une quelconque de ces techniques de réduction des brouillages ou d'autres devrait garantir que toutes les administrations auront la possibilité de mettre en œuvre le SRS (sonore) dans la bande de fréquences appropriée attribuée par la CAMR-92 sans qu'il faille imposer des contraintes majeures sur le niveau de service pouvant être fourni.

3 Mesures pratiques à mettre en œuvre pour autoriser le partage interservices

Pour les calculs de brouillage, on utilisera vraisemblablement les scénarios les plus défavorables, ce qui pourrait amener à penser qu'un partage d'une même fréquence ou d'un même canal entre différents services n'est pas possible. Les paramètres techniques généraux qui sont utilisés pour établir des critères de partage appropriés ne reflètent peut-être pas l'utilisation réelle que se proposent d'en faire les administrations.

Lorsqu'une administration souhaite établir un nouveau système et que les critères de partage appropriés n'ont pas été arrêtés, il convient de prendre les mesures indiquées ci-après pour s'assurer qu'aucun brouillage préjudiciable n'est causé au service existant ou au nouveau service proposé.

3.1 Les administrations affectées devraient déterminer les zones ou installations particulières où il pourrait avoir brouillage. Il sera alors possible de prendre les mesures qui s'imposent pour protéger ces zones ou ces installations.

3.2 Au départ on pourra envisager un espacement géographique, mais comme les zones frontalières adjacentes seront les plus affectées, cette formule aura peut-être des limites.

3.3 Lorsqu'on a déterminé que des installations ou des sites particuliers sont affectés, on peut appliquer des méthodes concrètes, par exemple annuleurs de brouillage, filtrage particulier, systèmes d'antennes adaptatifs (voir la Recommandation UIT-R SM.856).

3.4 On pourra peut-être aussi envisager d'apporter des modifications aux dispositions des canaux existantes pour les systèmes du service fixe à condition que cette formule soit cohérente avec avantage économique.

3.5 Sur le long terme, l'utilisation de techniques de transmission améliorées, par étalement de spectre (voir la Recommandation UIT-R SM.1055), techniques de codage, commande de puissance automatique, dispersion d'énergie, pourront faciliter davantage le partage entre services.