

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1456
(05/2000)

**Caractéristiques minimales de
fonctionnement et conditions d'exploitation
des stations placées sur des plates-formes à
haute altitude assurant les services
IMT-2000 dans les bandes
1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz
et 2 110-2 170 MHz dans les Régions 1 et 3
et 1 885-1 980 MHz et 2 110-2 160 MHz
en Région 2**

Série M

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



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre 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.1456* **

**Caractéristiques minimales de fonctionnement et conditions d'exploitation
des stations placées sur des plates-formes à haute altitude assurant les services
IMT-2000 dans les bandes 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz et
2 110-2 170 MHz dans les Régions 1 et 3 et 1 885-1 980 MHz
et 2 110-2 160 MHz en Région 2*****

(2000)

Domaine d'application

La présente Recommandation traite des caractéristiques minimales de fonctionnement et des conditions d'exploitation des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) fonctionnant comme stations de base IMT-2000 dans les bandes de fréquences au voisinage de 2 GHz identifiées comme pouvant être utilisées, à l'échelle mondiale, par les administrations souhaitant mettre en œuvre les IMT-2000.

Une méthode permettant d'évaluer le niveau de brouillage cocanal causé par des stations HAPS fonctionnant comme stations de base IMT-2000 est décrite et des critères de fonctionnement sont recommandés pour les diagrammes d'antenne des stations HAPS en vue d'assurer la protection des autres stations dans le même canal. La Recommandation précise les limites de puissance surfacique que doivent respecter les stations de base HAPS en ce qui concerne le brouillage cocanal et le brouillage hors bande.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que les stations placées sur des stations sur plates-formes à haute altitude (HAPS, *high altitude platform stations*)¹ peuvent offrir un accès hertzien IMT-2000 mobile ou fixe en utilisant

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 4 et 9 des radiocommunications.

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

*** L'utilisation des systèmes HAPS dans ces bandes est facultative pour les administrations. Chaque administration a toute autorité pour ce qui est des questions techniques et réglementaires relatives au partage, à la coordination et à la mise en œuvre des systèmes HAPS dans ces bandes.

¹ Les stations HAPS sont définies au numéro S1.66A du RR comme étant une «station installée sur un objet placé à une altitude comprise entre 20 et 50 km et en un point spécifié, nominal, fixe par rapport à la Terre». Un système HAPS se compose d'une station HAPS, de plusieurs stations au sol et de nombreuses stations d'abonné mobiles ou fixes. Chaque station HAPS comporte une antenne multifaisceaux capable de rayonner de nombreux faisceaux ponctuels dans sa zone de couverture. Les stations d'abonné mobiles ou fixes HAPS sont identiques à celles utilisées avec les systèmes à tour IMT-2000. Les liaisons entre deux stations HAPS et les liaisons entre une station HAPS et des stations au sol HAPS n'utilisent pas les bandes attribuées aux IMT-2000 et utiliseront des fréquences non attribuées aux systèmes IMT-2000. L'utilisation de toute fréquence proposée par les HAPS pour ces liaisons devra faire l'objet d'une étude et d'une coordination.

Les systèmes HAPS seront de nature mondiale mais la fourniture de services relèvera de chaque pays. Chaque station HAPS sera située au-dessus de l'espace aérien commercial à une altitude suffisamment haute pour desservir une grande zone mais suffisamment basse pour assurer une couverture dense. Les stations HAPS offrent un nouveau moyen d'assurer des services IMT-2000 avec une infrastructure de réseau au sol minimale.

les technologies et les protocoles de transmission radioélectrique des composantes de Terre IMT-2000;

b) que chaque station HAPS est équipée d'une antenne à réseau déphaseur permettant de produire plusieurs centaines de faisceaux ponctuels en vue d'assurer des services de télécommunication dans des zones de couverture de taille diverse allant des grandes villes aux zones étendues;

c) que pour les systèmes de Terre non HAPS, tels les systèmes à tour, l'illumination de zones en dehors des zones opérationnelles nominales dépend des caractéristiques de l'antenne montée sur une tour et de l'affaiblissement de propagation alors que pour les HAPS, cette illumination dépend davantage des caractéristiques des antennes montées sur les stations HAPS et en particulier des caractéristiques de lobes secondaires et de la précision de pointage. Les exigences en matière de caractéristiques d'antenne augmentent avec la taille de la zone de couverture des stations HAPS;

d) que les caractéristiques de partage cocanal et de coordination entre systèmes HAPS et d'autres systèmes IMT-2000 dépendent des caractéristiques des antennes HAPS, de l'interface radioélectrique IMT-2000 utilisée par les stations HAPS et de la zone de couverture des systèmes HAPS;

e) que les niveaux des brouillages hors bande ayant pour origine les stations HAPS et reçus par des stations terriennes mobiles, des stations du service fixe, des stations des services scientifiques spatiaux et des stations mobiles fonctionnant dans les canaux adjacents peuvent être abaissés grâce à l'utilisation par les HAPS de filtres et de bandes de garde limitant les niveaux d'émission hors bande;

f) que les bandes 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz et 2 110-2 170 MHz sont attribuées à titre primaire à l'échelle mondiale au service fixe et au service mobile;

g) que les bandes 1 980-2 010 MHz et 2 170-2 200 MHz sont attribuées à titre primaire à l'échelle mondiale au SMS, que la bande 2 160-2 170 MHz est attribuée à titre primaire au SMS en Région 2 et que la bande 2 010-2 025 MHz est, de plus, attribuée à titre primaire avec égalité des droits en Région 2 au service mobile par satellite (SMS) (Terre vers espace);

h) que le numéro S5.388 du RR stipule que «les bandes 1 885-2 025 MHz et 2 110-2 200 MHz sont destinées à être utilisées, à l'échelle mondiale, par les administrations qui souhaitent mettre en œuvre les télécommunications mobiles internationales-2000 (IMT-2000). Cette utilisation n'exclut pas l'utilisation de ces bandes par d'autres services auxquels elles sont attribuées. Les bandes devraient être mises à la disposition des IMT-2000 conformément aux dispositions de la Résolution **212 (Rév.CMR-97)**»;

j) que néanmoins dans ces bandes, les administrations peuvent utiliser des systèmes non IMT-2000 dans le service mobile,

recommande

1 de faire en sorte que les interfaces radioélectriques des stations HAPS assurant des services IMT-2000 dans les bandes 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz et 2 110-2 170 MHz en Régions 1 et 3, et 1 885-1 980 MHz et 2 110-2 160 MHz en Région 2 soient conformes à la Recommandation UIT-R M.1457;

2 de faire en sorte que pour protéger les stations exploitées dans les administrations voisines contre les brouillages cocanal, les administrations utilisant des stations HAPS comme station de base pour assurer des IMT-2000 les équipent d'antennes conformes au diagramme de rayonnement suivant:

$$G(\psi) = G_m - 3 (\psi/\psi_b)^2 \quad \text{dBi pour} \quad 0^\circ \leq \psi \leq \psi_1 \quad (1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi pour } \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \quad (2)$$

$$G(\psi) = X - 60 \log(\psi) \quad \text{dBi pour } \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \quad (3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi pour } \psi_3 < \psi \leq 90^\circ \quad (4)$$

où:

$G(\psi)$: gain à l'angle ψ depuis la direction du faisceau principal (dBi)

G_m : gain maximal dans le lobe principal (dBi)

ψ_b : demi-ouverture de faisceau à 3 dB dans le plan considéré (3 dB en dessous de G_m) (degrés)

L_N : niveau dans le lobe latéral proche (dB) relativement au gain crête nominal défini pour le système, et dont la valeur maximale est de -25 dB

$L_F = G_m - 73$ dBi, niveau du lobe latéral éloigné (dBi)

$$\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N/3} \quad \text{degrés} \quad (5)$$

$$\psi_2 = 3,745 \psi_b \quad \text{degrés} \quad (6)$$

$$X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2) \quad \text{dB} \quad (7)$$

$$\psi_3 = 10^{\frac{X - L_F}{60}} \quad \text{degrés} \quad (8)$$

L'ouverture de faisceau à 3 dB ($2\psi_b$) est approximativement donnée par la relation:

$$\psi_b = \sqrt{\frac{7\,442}{10^{0,1G_m}}} \quad (9)$$

dans laquelle G_m est le gain d'ouverture crête (dBi);

3 de faire en sorte que le niveau de puissance surfacique cocanal à la surface de la Terre en provenance d'une station HAPS fonctionnant comme station de base IMT-2000 ne dépasse pas $-121,5$ dB(W/m² · 1 MHz) en dehors des frontières d'une administration sauf accord contraire avec l'administration affectée voisine*. La méthode décrite dans l'Annexe 1 peut être utilisée par les administrations susceptibles d'être affectées pour déterminer si l'utilisation d'une station HAPS comme station de base assurant des IMT-2000 est acceptable compte tenu de l'utilisation qu'ils font de la bande;

4 de faire en sorte, afin de protéger les stations terriennes mobiles contre les brouillages, que le niveau de puissance spectrale surfacique hors bande en provenance d'une station HAPS fonctionnant comme station de base IMT-2000, ne dépasse pas -165 dB(W/(m² · 4 kHz)) à la

* Cette valeur pourrait ne pas être adéquate pour la protection de certaines stations fonctionnant dans ces bandes dans les services fixe et mobile.

surface de la Terre dans les bandes 2 160-2 200 MHz en Région 2 et 2 170-2 200 MHz en Régions 1 et 3. L'Annexe 2 définit les bases permettant de calculer ce niveau de puissance surfacique;

5 de faire en sorte, afin de protéger les stations fixes contre les brouillages, que le niveau de puissance surfacique hors bande à la surface de la Terre dans la bande 2 025-2 110 MHz en provenance d'une station HAPS fonctionnant comme station de base IMT-2000, ne dépasse pas les valeurs suivantes:

5.1 $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$ pour des angles d'incidence, θ , inférieurs à 5° au-dessus du plan horizontal;

5.2 $-165 + 1,75 (\theta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$ pour des angles d'incidence compris entre 5° et 25° au-dessus du plan horizontal; et

5.3 $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$ pour des angles d'incidence compris entre 25° et 90° au-dessus du plan horizontal.

L'Annexe 2 définit la base de calcul de ce niveau de puissance spectrale surfacique;

6 de faire en sorte qu'une station HAPS fonctionnant comme station de base IMT-2000 conforme aux caractéristiques spécifiées dans l'Annexe 1 ne brouille pas les stations spatiales du service scientifique spatial fonctionnant dans la bande 2 025-2 110 MHz (voir l'Annexe 3);

7 d'utiliser les techniques d'amélioration des caractéristiques, telle que le filtrage à hautes performances à l'émission, la réduction du nombre de faisceaux ponctuels, la diminution du nombre d'utilisateurs et la réduction de la puissance de la station HAPS au besoin afin d'éviter de brouiller des stations du service fixe, y compris les systèmes point à multipoint, du service mobile et du SMS dans les bandes de fréquences adjacentes à celles utilisées par les stations HAPS.

Annexe 1

Brouillage cocanal causé par des stations HAPS fonctionnant comme station de base IMT-2000

1 Puissance reçue en fonction de la distance depuis le nadir

Dans le mode duplex à répartition en fréquence (DRF), seuls les systèmes HAPS utilisant des interfaces radioélectriques AMRC et AMRT IMT-2000 terrestres seront considérés ici. Dans les interfaces radioélectriques DF IMT-2000, seuls deux formats seront pris en considération à savoir le format à étalement direct AMRC IMT-2000 et le format multiporteuses AMRC IMT-2000 étant donné que les autres découlent étroitement de l'un ou de l'autre. Pour les formats AMRT IMT-2000, seule l'AMRT IMT-2000 monoporteuse sera étudiée. Le duplex à répartition dans le temps (DRT) ne sera pas pris en considération car le temps de propagation entre la station HAPS et la surface de la Terre rend ce type de duplex incompatible avec le HAPS.

Etant donné que les formats AMRC IMT-2000 à étalement direct et AMRC IMT-2000 multiporteuses peuvent nécessiter différents espacements entre porteuses, il serait plus approprié d'utiliser les puissances surfaciques pour comparer les caractéristiques de transmission des réalisations AMRC IMT-2000 à étalement direct et les réalisations AMRC IMT-2000 multiporteuses sur HAPS. La puissance surfacique maximale pour un système AMRC IMT-2000 à étalement direct est de $-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, tandis que pour un système AMRC IMT-2000 multiporteuses sur HAPS la puissance surfacique est de $-101,1 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$.

Pour une station HAPS utilisant le format AMRT IMT-2000 monoporteuse, la puissance surfacique maximale dans le cas d'un système AMRT HAPS en pleine charge est de $-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Ce chiffre est légèrement supérieur (de 1,4 dB) au chiffre correspondant pour le format AMRC IMT-2000 à étalement direct.

La puissance surfacique maximale est calculée pour un système IMT-2000 sur HAPS à pleine charge doté de 700 faisceaux.

Pour les calculs on a supposé que la station HAPS était placée à une altitude de 22 km.

1.1 Stations HAPS utilisant l'AMRT IMT-2000

La puissance spectrale totale reçue au nadir peut être calculée à partir de la puissance surfacique de $-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ et d'une ouverture apparente de $-27,5 \text{ dB(m}^2)$ de l'antenne de portable qui présente un gain de 0 dBi. Cela donne une valeur de $-124,3 \text{ dB(W/4 kHz)}$ pour la densité spectrale de puissance reçue, chiffre qui est de 38,7 dB au-dessus du niveau du bruit thermique: $-135,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, basé sur la puissance thermique pour une antenne de réception isotrope, -204 dB(W/Hz) à 299 K, facteur de bruit, 5 dB, et ouverture d'une antenne isotrope à 2 GHz, $-27,5 \text{ dB(m}^2)$. Etant donné que le niveau de brouillage admissible, I , est situé à 10 dB au-dessous du niveau de bruit thermique, la densité spectrale de puissance reçue se trouve à 48,7 dB au-dessus du niveau admissible. Cette valeur est à comparer avec le niveau du brouillage cumulatif dans les lobes latéraux éloignés qui est de 43,1 dB en dessous de la puissance reçue et on peut constater que la contribution du lobe latéral éloigné est toujours à 5,6 dB au-dessus du niveau admissible. Ainsi, le lobe latéral éloigné joue un rôle important dans la détermination de la distance de coordination. En fait, la contribution du lobe latéral éloigné influe fortement sur la longueur de la distance de coordination car lorsqu'on a atteint le niveau cumulatif dans le lobe latéral éloigné, la seule façon de le faire décroître consiste à avoir un plus fort affaiblissement sur le trajet en espace libre. La décroissance lente du niveau de brouillage dans les lobes latéraux en fonction de la distance à partir du nadir fait que la distance de coordination devient grande.

Une couverture de type isoflux donne une puissance surfacique pratiquement uniforme jusqu'à la limite de la zone de couverture principale et au-delà la puissance surfacique diminue rapidement en raison de la décroissance du profil de rayonnement de l'antenne après le lobe principal et de l'augmentation de l'affaiblissement sur le trajet en espace libre. On constate ce phénomène dans la Fig. 1, où les profils de puissance surfacique en fonction de la distance depuis le nadir sont représentés pour des rayons de couverture de 8, 19, 27, 43, 62, 78, 108, 131 et 158 km. La puissance surfacique maximale est pratiquement indépendante du rayon de couverture. Pour obtenir une couverture avec 700 faisceaux dans un rayon principal de 8 km seulement, il suffit d'une antenne à réseau déphaseur de 12,5 m pour obtenir un gain maximal d'antenne de 45,7 dBi.

Une station HAPS utilisant le format monoporteuse AMRT IMT-2000 peut assurer une couverture sur une vaste zone à partir d'une seule station HAPS. Toutefois, la probabilité de brouillage résultant d'une couverture sur vaste zone et l'exploitation cocanal d'un système AMRT IMT-2000 à tour existant ou en projet dans la même zone géographique doit être prise en considération.

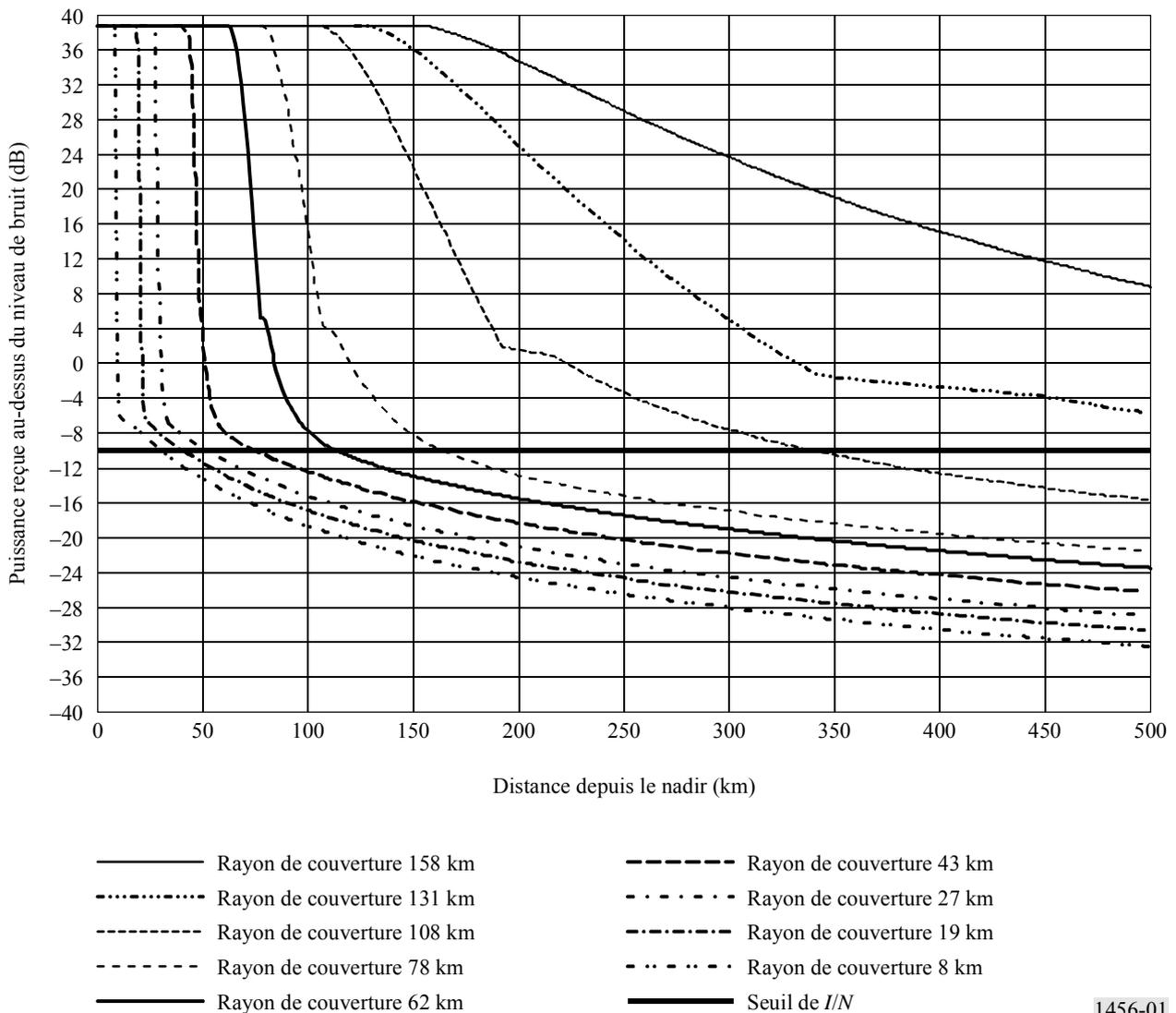
La Fig. 4 montre la variation de la distance entre la limite de coordination et le nadir d'une station HAPS en fonction du rayon de couverture du système HAPS.

1.2 Système HAPS utilisant l'AMRC IMT-2000

La puissance spectrale totale reçue au nadir peut être calculée à partir de la puissance surfacique de $-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ et une ouverture apparente d'antenne de $-27,5 \text{ dB(m}^2)$ pour l'antenne de portable ayant un gain de 0 dBi. La densité spectrale de puissance reçue est donc de $-125,7 \text{ dB(W/4 kHz)}$, valeur qui est à 37,3 dB au-dessus du niveau du bruit thermique. Si le niveau

de brouillage admissible, I , est de 10 dB en dessous du niveau du bruit thermique, la densité spectrale de puissance reçue est de 47,3 dB au-dessus du niveau admissible. Ce chiffre est à comparer avec le niveau du brouillage cumulatif dans les lobes latéraux qui est de 44,5 dB inférieur à la puissance reçue; on peut constater que la contribution des lobes latéraux éloignés est toujours de 2,8 dB supérieure au niveau admissible. Ainsi, le lobe latéral éloigné joue un rôle important dans la détermination de la distance de coordination. En réalité, la contribution des lobes latéraux éloignés influe fortement sur la distance de coordination car lorsqu'on a atteint le niveau cumulatif dans le lobe latéral éloigné, la seule façon de le faire décroître consiste à augmenter l'affaiblissement en espace libre.

FIGURE 1
Puissance reçue au-dessus du niveau de bruit thermique en fonction de la distance depuis le nadir (HAPS utilisant l'AMRT IMT-2000)



1456-01

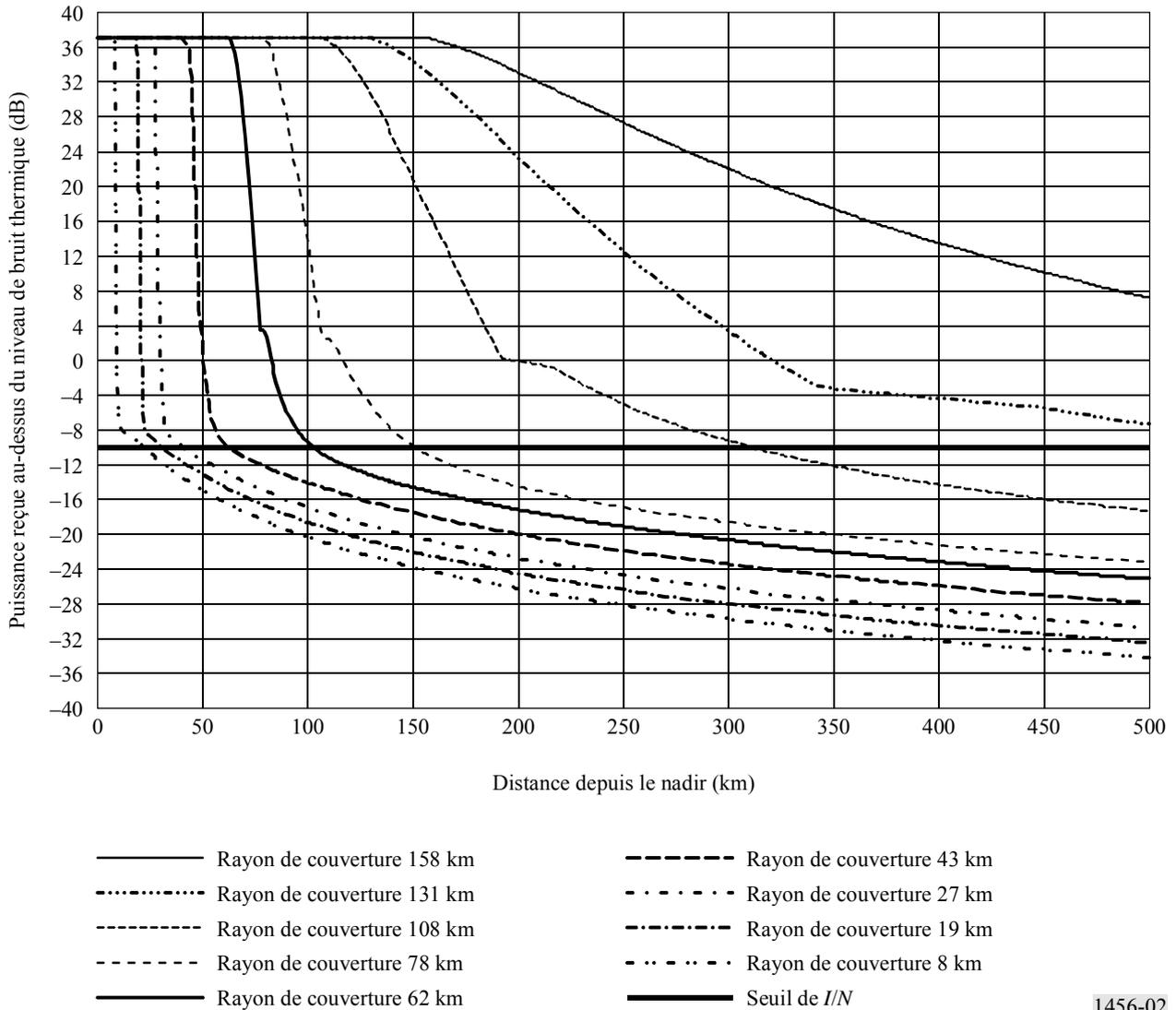
Une couverture de type isoflux donne une puissance surfacique pratiquement uniforme jusqu'à la limite de la zone de couverture principale et au-delà la puissance surfacique diminue rapidement en raison de la décroissance du profil de rayonnement de l'antenne après le lobe principal et de l'augmentation de l'affaiblissement sur le trajet en espace libre. On constate ce phénomène dans la Fig. 2, où les profils de puissance surfacique en fonction de la distance depuis le nadir sont

représentés pour des rayons de couverture de 8, 19, 27, 43, 62, 78, 108, 131 et 158 km. La puissance surfacique maximale est pratiquement indépendante du rayon de couverture. Pour assurer une couverture avec 700 faisceaux sur un rayon principal de 8 km, il suffit d'une antenne à réseau déphaseur de 12,5 m pour obtenir un gain maximal d'antenne de 45,7 dBi. La Fig. 3 montre la variation de la distance de coordination en fonction du rayon de couverture de la station HAPS et la Fig. 5 la variation de la distance entre la limite de coordination et le nadir de la station HAPS en fonction du rayon de couverture du système HAPS.

2 Critères de brouillage

Le brouillage cocanal entre un système IMT-2000 terrestre de type HAPS et un système IMT-2000 terrestre à tour ou un système du service fixe exploité dans la même bande a les plus fortes probabilités de se produire à la limite entre les deux zones de couverture.

FIGURE 2
Puissance reçue au-dessus du niveau du bruit thermique en fonction de la distance depuis le nadir (HAPS utilisant l'AMRC IMT-2000)



Le critère de brouillage admissible, $I/N_{thermique} = -10$ dB, sera utilisé pour les portables brouillés indépendamment du format d'accès de l'interface radioélectrique brouillée. Le même critère de brouillage admissible sera également appliqué aux stations de base brouillées. Il convient de noter que si le portable brouillé utilise un format d'accès AMRC, il est moins sensible au brouillage cocanal étant donné que dans un système AMRC, l'autobrouillage est en général bien supérieur au niveau de bruit thermique. Toutefois, en limite de la zone de couverture du système AMRC brouillé, là où l'«autobrouillage» est bien inférieur au niveau de bruit, la présence d'un brouillage causé par le système HAPS diminue encore la couverture du système AMRC brouillé. Par conséquent, dans la présente Recommandation, le critère de brouillage admissible $I/N_{thermique} = -10$ dB sera appliqué de manière uniforme indépendamment du format d'accès du système brouillé.

Il convient de noter que ce critère, $I/N_{thermique} = -10$ dB, autorise pour le brouillage cumulatif causé au système de réception par un faisceau unique une dégradation maximale de la qualité de fonctionnement de 0,4 dB au pire.

Une formule approximative de calcul de la distance de coordination requise entre une station de base HAPS et des stations mobiles brouillées est donnée ci-après.

Compte tenu des gains d'antenne élevés, il est possible de faire une approximation du calcul de la distance de coordination au moyen des formules données ci-dessous. Les formules sont valables pour un rayon de couverture principal HAPS inférieur à 132 km. Deux cas seront considérés selon que l'accumulation dans les lobes latéraux est la contribution dominante ou non. Une formule unique couvrant les deux cas est donnée.

Le cas où le portable est essentiellement brouillé par les émissions cumulatives dans les lobes latéraux est étudié en premier.

La puissance brouilleuse reçue par le portable dans ce cas est donnée par la formule:

$$I = P_{victime} = P_{centre} - 10 \log(r^2 + h^2) + 10 \log(r_{centre}^2 + h^2) + 10 \log(Num) - F \quad \text{dB} \quad (10)$$

où:

h : altitude de la station HAPS

r : distance du portable brouillé depuis le nadir

$P_{victime} - P_{centre}$: niveau de la puissance brouilleuse reçue relativement à la puissance dans le lobe principal sur l'axe de visée du faisceau HAPS le plus proche

r_{centre} : distance du centre du faisceau par rapport au nadir

Num : nombre total de faisceaux

$F = 73$ dB: niveau dans le lobe latéral éloigné relativement au gain crête.

On peut alors déterminer la distance de coordination comme suit:

$$R_{coordination} = r = \left((h^2 + r_{centre}^2) Num \times 10^{-7,3+B} - h^2 \right)^{1/2} \quad \text{km} \quad (11)$$

où:

$$B = 0,1 (P_{centre}/N) + 1.$$

L'équation (11) n'est valable que pour $B + \log(Num) > 7,3 = 0,1 F$, condition pour que le niveau cumulatif dans les lobes latéraux soit dominant dans la détermination de la distance de coordination.

L'équation (11) n'est valable que pour une couverture HAPS très étroite. Dans la limite opposée, où, en raison de l'affaiblissement rapide dans les lobes latéraux, le brouillage est dominé par un seul faisceau, le rapport puissance de brouillage/bruit thermique pour le récepteur du portable brouillé est donné approximativement par la formule:

$$(I_{re\grave{c}ue}/N) = (I_{re\grave{c}ue}/N)_{centre} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) \quad (12)$$

où:

$(I_{re\grave{c}ue}/N)_{centre}$: rapport puissance du brouillage cumulatif reçue/bruit mesuré sur l'axe de visée du faisceau HAPS le plus éloigné

θ_0 : angle d'inclinaison du dernier faisceau HAPS

θ : angle d'inclinaison du portable brouillé par rapport à la station HAPS

$\delta G(\theta - \theta_0) = G(\theta - \theta_0) - G_m$: gain différentiel d'antenne

$\delta FSL(\theta) = 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta))$: affaiblissement différentiel sur le trajet en espace libre (FSL, *free space path loss*) entre les émetteurs HAPS et le portable brouillé relativement à l'affaiblissement sur le trajet en espace libre sur l'axe de visée du dernier faisceau.

Etant donné que la puissance brouilleuse reçue par le portable brouillé à l'intérieur du lobe principal de l'émission HAPS est en général trop importante pour être admissible, seule la partie en puissance sixième inverse du diagramme de rayonnement de l'antenne sera visée par la présente discussion.

De ce fait, on peut exprimer $\delta G(\theta - \theta_0)$ en posant $\theta - \theta_0 = \psi_2 \eta + \psi_2$, comme suit:

$$\delta G(\theta - \theta_0) = -L_N - 60 \log(1 + \eta) = -L_N - 60 y \quad \text{dB} \quad (13)$$

où:

$$y = \log(1 + \eta)$$

L_N : gain relatif dans les lobes latéraux proches par rapport au gain crête (dB) nominalement spécifié pour le système.

Dans la présente étude, L_N sera égal à 32 dB. Pour les rayons de couverture principale inférieurs à 132 km, l'affaiblissement sur le trajet en espace libre varie bien plus lentement en fonction de l'angle d'inclinaison θ qu'en fonction du gain d'antenne. Par conséquent, une bonne approximation consiste à remplacer le terme affaiblissement différentiel en espace libre par les deux premiers termes de son développement en série de Taylor, en utilisant $\theta = \theta_0 + (1 + \eta)\psi_2 = \theta_0 + 10^y \psi_2$.

$$\begin{aligned} \delta FSL(\theta) &= 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + 10^y \psi_2)) \\ &\cong 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2)) + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2) y \\ &= 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2)) + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2) y \end{aligned} \quad (14)$$

Soit $D = (I_{re\grave{c}ue}/N)_{centre} - \text{Seuil} - L_N$, la distance de coordination peut être obtenue à partir d'une solution pour y dans laquelle $\text{Seuil} = -10$ dB est le seuil du rapport I/N admissible pour un système HAPS brouillant des stations mobiles.

$$y = [D - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))]/[60 + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (15)$$

La distance de coordination requise (par rapport au nadir de la station HAPS) est donnée par la relation:

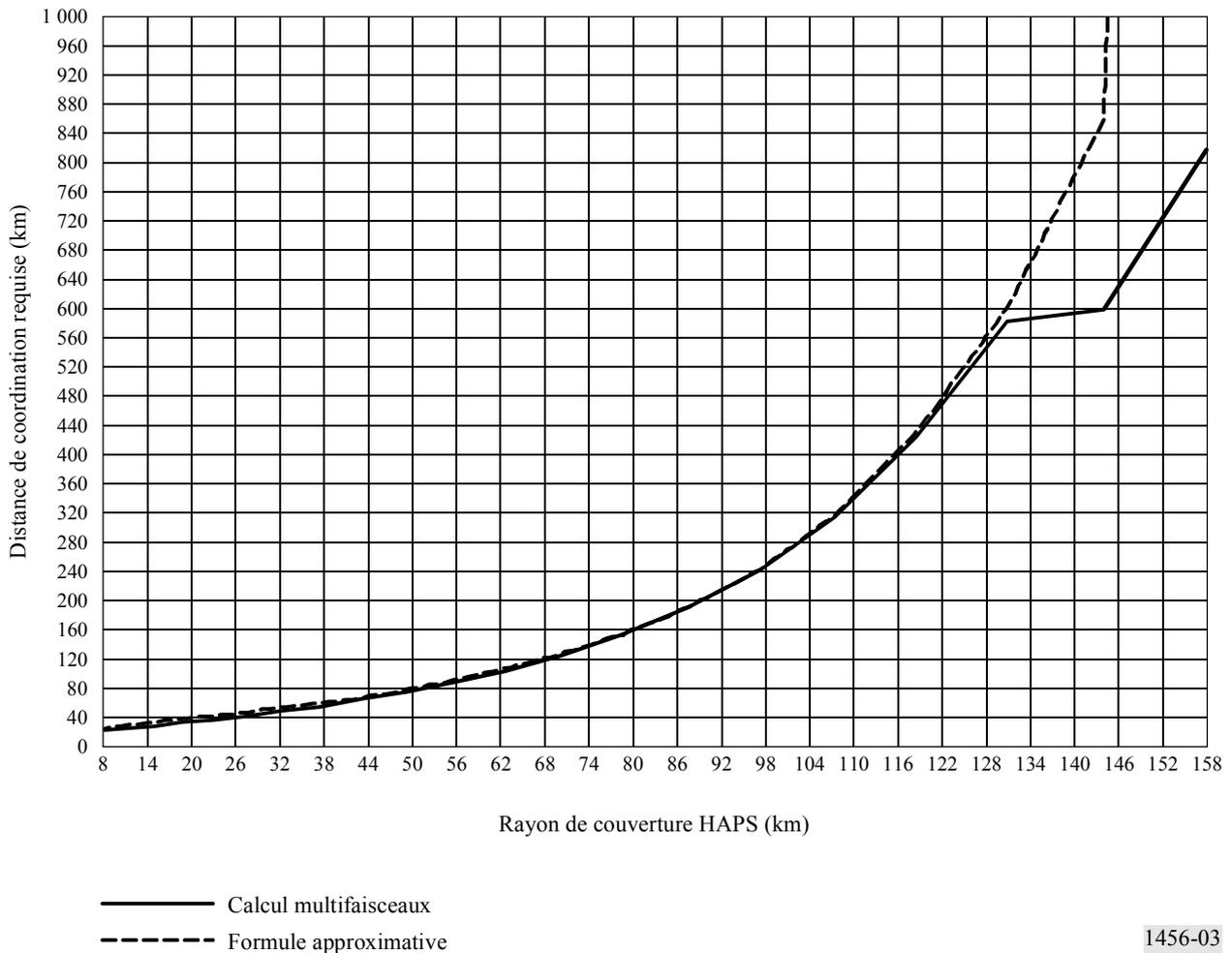
$$R_{\text{coordination}} = \text{tg} (\theta_0 + 10^y \psi_2) h \quad \text{km} \quad (16)$$

Une formule empirique obtenue à partir de l'équation (16) qui prend en considération le niveau de brouillage cumulé dans l'équation (11) est donnée ci-après:

$$R_{\text{coordination}} = \text{tg} (\theta_0 + 10^y \psi_2) h + (1 - h/(158 \cos (\theta_0)) (\text{Num} \times 10^{-7,3+B} - 1)^{1/2} h \quad \text{km} \quad (17)$$

La méthode d'approximation conduit à des résultats assez exacts lorsqu'on les compare avec ceux obtenus avec un calcul réel multifaisceaux. Comme on peut le constater dans la Fig. 3:

FIGURE 3
Comparaison des résultats obtenus avec la formule approximative et le calcul multifaisceaux
(HAPS utilisant le format AMRC)



On constate à la Fig. 3 que la formule approximative conduit à des résultats qui se trouvent dans une fourchette de 1% par rapport à ceux obtenus au moyen d'un calcul multifaisceaux explicite pour des rayons de couverture allant jusqu'à 132 km. Il convient de noter que si une station mobile se trouve au-delà de l'horizon, elle ne doit pas recevoir de brouillage en provenance du système HAPS compte tenu des contraintes de visibilité. Ainsi, lorsque le système HAPS se trouve à 22 km

d'altitude, son horizon est d'environ 600 km mesuré depuis le nadir. Compte tenu du fort affaiblissement par le fouillis, l'horizon visible et l'horizon radioélectrique doivent être pratiquement les mêmes.

2.1 Brouillage du service fixe par une station HAPS

Le brouillage causé au service fixe point à point par une station HAPS fonctionnant dans les mêmes bandes que le service fixe nécessitera la définition d'une distance de coordination entre le nadir du système HAPS et l'antenne du service fixe qui est une fonction du gain d'antenne du système du service fixe, de son angle de visée par rapport au système HAPS et du rayon de couverture du système HAPS. Un tel service point à point utilise en général des antennes présentant une directivité suffisante pour optimiser les communications à longue distance. En supposant que les antennes du service fixe pointent approximativement dans la direction horizontale, la puissance brouilleuse reçue par l'antenne du service fixe en provenance du système HAPS peut s'écrire comme suit:

$$(I_{re\c{c}ue} / N) = [P_{re\c{c}ue}(\theta) / N] + G_{victime}(\varphi, r) \quad (18)$$

où:

$P_{re\c{c}ue}(\theta)$: puissance reçue au sol en fonction de l'angle d'inclinaison θ

r : distance depuis le nadir du faisceau HAPS le plus proche

$G_{victime}(\varphi, r)$: gain d'antenne de l'antenne du service fixe brouillé en fonction à la fois de l'angle hors axe de visée par rapport au nadir du système HAPS et de la distance de l'antenne du service fixe par rapport au nadir.

Ce dernier peut s'exprimer en fonction de l'angle hors axe de visée, α , défini par l'expression:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[r \cos(\varphi) / (r^2 + h^2)^{1/2} \right] \quad (19)$$

Compte tenu des valeurs élevées de la puissance surfacique rayonnée par le système HAPS à pleine charge à l'intérieur de leur zone de couverture principale, le partage cocanal dans la zone de couverture HAPS est à l'évidence impossible et ce que montre le calcul explicite multifaisceaux du scénario précité. En dehors de la zone de couverture principale HAPS, on peut utiliser valablement l'équation (20):

$$(I_{re\c{c}ue}/N) = (I_{re\c{c}ue}/N)_{centre} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) + G_{FS}(\alpha(\varphi, r)) \quad (20)$$

dans laquelle $\delta G(\theta - \theta_0)$ et $\delta FSL(\theta)$ ont déjà été définis, et $G_{FS}(\alpha(\varphi, r)) = G_{victime}(\varphi, r)$. On obtient donc les équations (21) et (22):

$$y = [D(\theta_0, \varphi) - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))]/[60 + 20 \psi_2 \operatorname{tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (21)$$

$$R_{coordination} = \operatorname{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2) h + (1 - h/(158 \cos(\theta_0)))(Num \times 10^{-7,3+B(\theta_0, \varphi)} - 1)^{1/2} h \quad \text{km} \quad (22)$$

où:

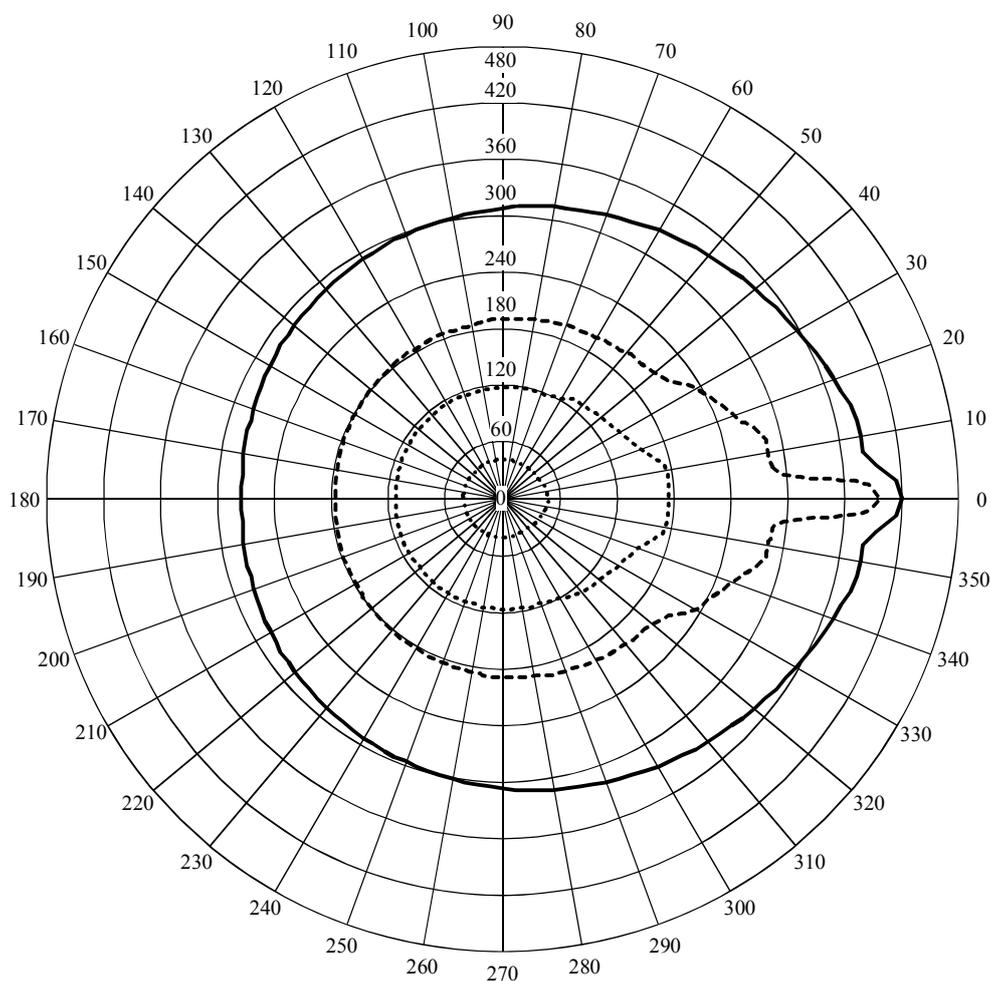
$$D(\theta_0, \varphi) = (I_{re\c{c}ue}/N)_{centre} + G_{victime}(\pi/2 - \theta_0, \varphi) - Seuil - L_N$$

$$B(\theta_0, \varphi) = 0,1[(I_{re\c{c}ue}/N)_{centre} + G_{victime}(\pi/2 - \theta_0, \varphi) - Seuil].$$

La Fig. 4 donne les distances de coordination en fonction du cosinus de l'angle entre l'axe de visée de l'antenne du service fixe et le nadir de la station HAPS pour des rayons de couverture HAPS de 8, 37, 87, 110, 158 km. On suppose que l'antenne du service fixe présente un gain de 31 dBi et un diagramme de directivité conforme à la Recommandation UIT-R F.699. Les diagrammes de référence des antennes situées sur des plates-formes HAPS sont donnés dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1.

La méthode d'approximation conduit à des résultats exacts seulement lorsque le rayon de couverture est faible (≤ 60 km). Ce que montre la Fig. 5.

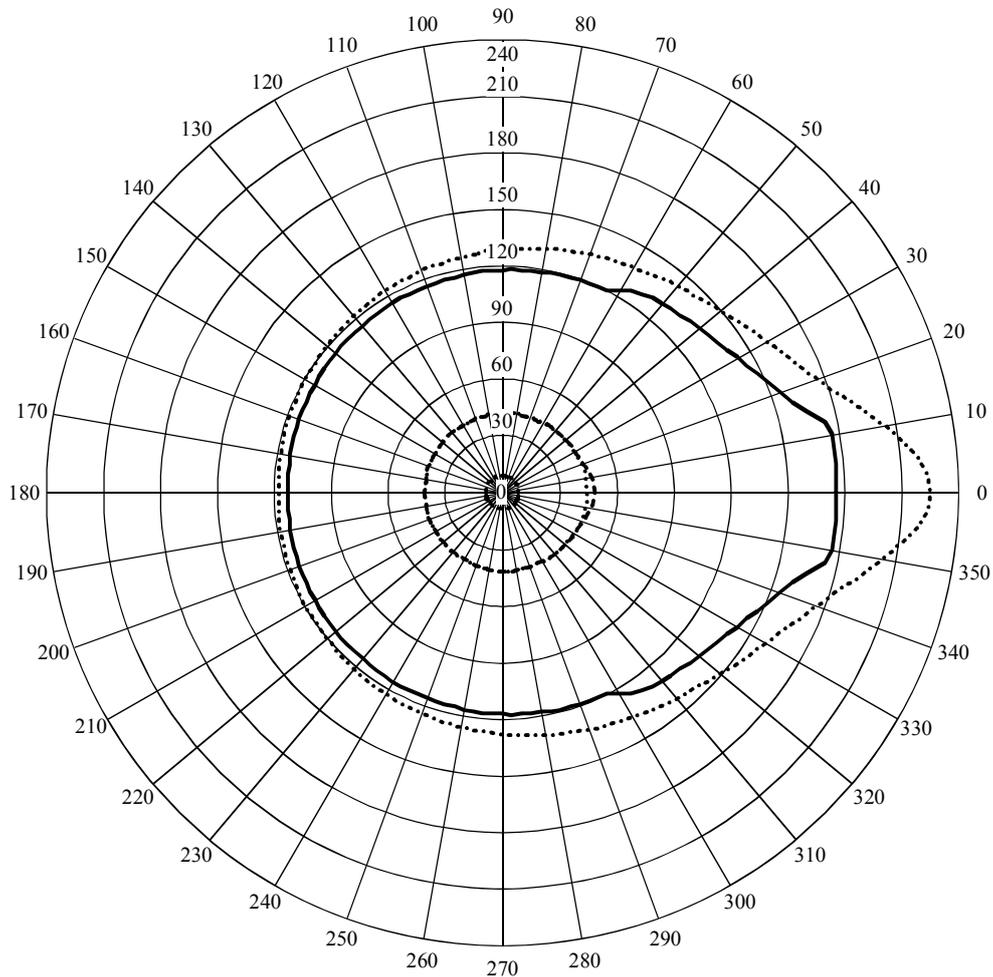
FIGURE 4
Distance de coordination en fonction de l'azimut et du rayon de couverture
(HAPS utilisant le format AMRT)



- Rayon de couverture 158 km
- Couverture 110 km
- Couverture 87 km
- Couverture 37 km
- Couverture 8 km

FIGURE 5

Comparaison entre les résultats exacts et les résultats approximatifs de la distance de coordination en fonction de l'azimut et du rayon de couverture (HAPS utilisant le format AMRC)



- Rayon de couverture 87 km
- Couverture 37 km
- Couverture 8 km
- Couverture 87 km (approximatif)
- Couverture 37 km (approximatif)
- . - . - Couverture 8 km (approximatif)

1456-05

2.2 Brouillage de stations mobiles IMT-2000 par un système HAPS utilisant le format AMRC IMT-2000

On appliquera le critère de brouillage $I/N = -10$ dB. Il n'y a pas de différence si la station mobile brouillée utilise ou non le format AMRC IMT-2000 ou AMRT IMT-2000. Seul le niveau des brouillages causés par le système HAPS revêt de l'importance.

Il est clair sur la Fig. 1 qu'un tel partage est tout à fait possible pour une couverture HAPS de faible rayon. Même pour un rayon de couverture principale de 62 km, le système à tour brouillé peut assurer le service IMT-2000 dans la même bande de fréquences à condition que sa zone de couverture se trouve au moins à 33 km du faisceau principal HAPS le plus proche. La Fig. 6 montre

la relation entre la distance de coordination et le rayon de couverture HAPS et la Fig. 7 la distance entre la limite de coordination et le nadir du système HAPS en fonction du rayon de couverture HAPS. Les résultats donnés à la Fig. 7 sont résumés dans le Tableau 1.

FIGURE 6
**Distance de coordination en fonction du rayon de la zone de couverture principale HAPS
 (HAPS utilisant le format AMRC)**

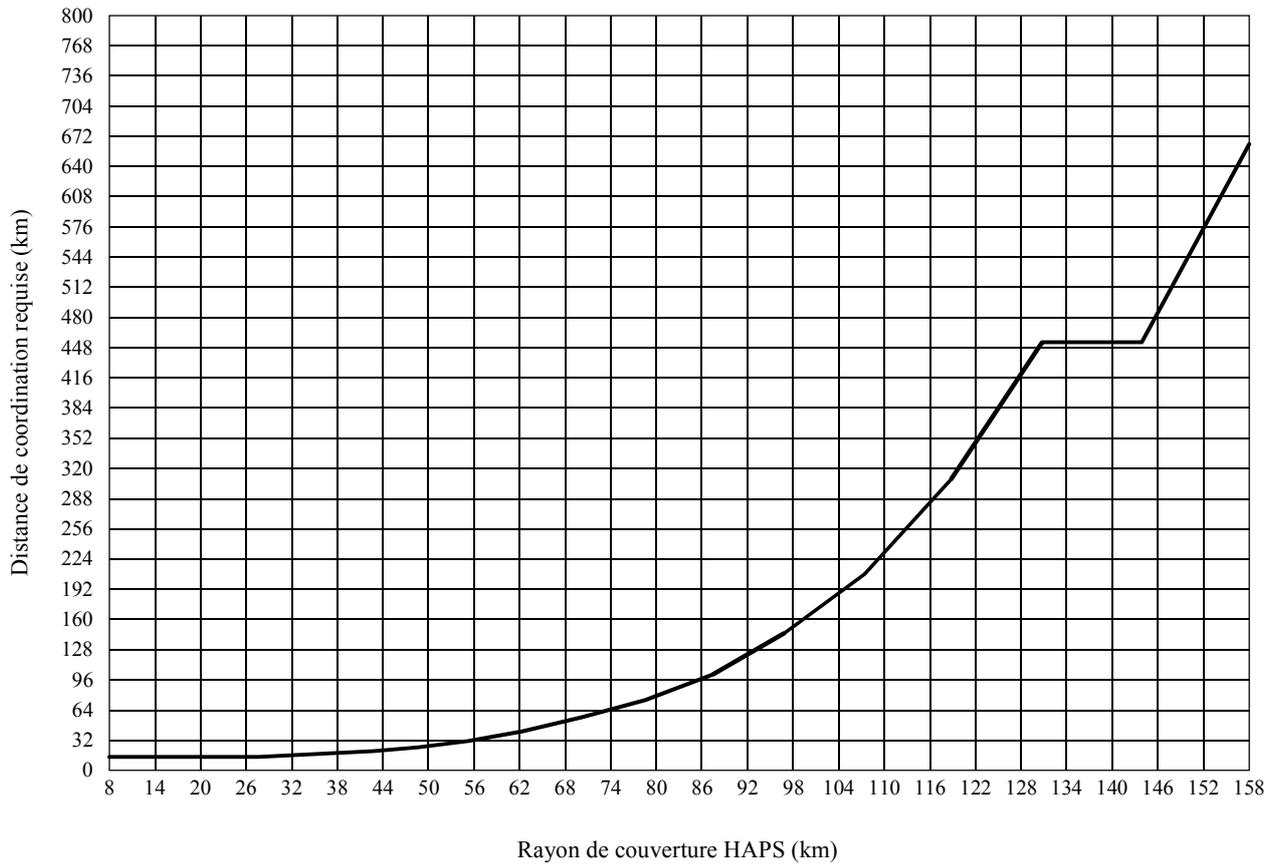
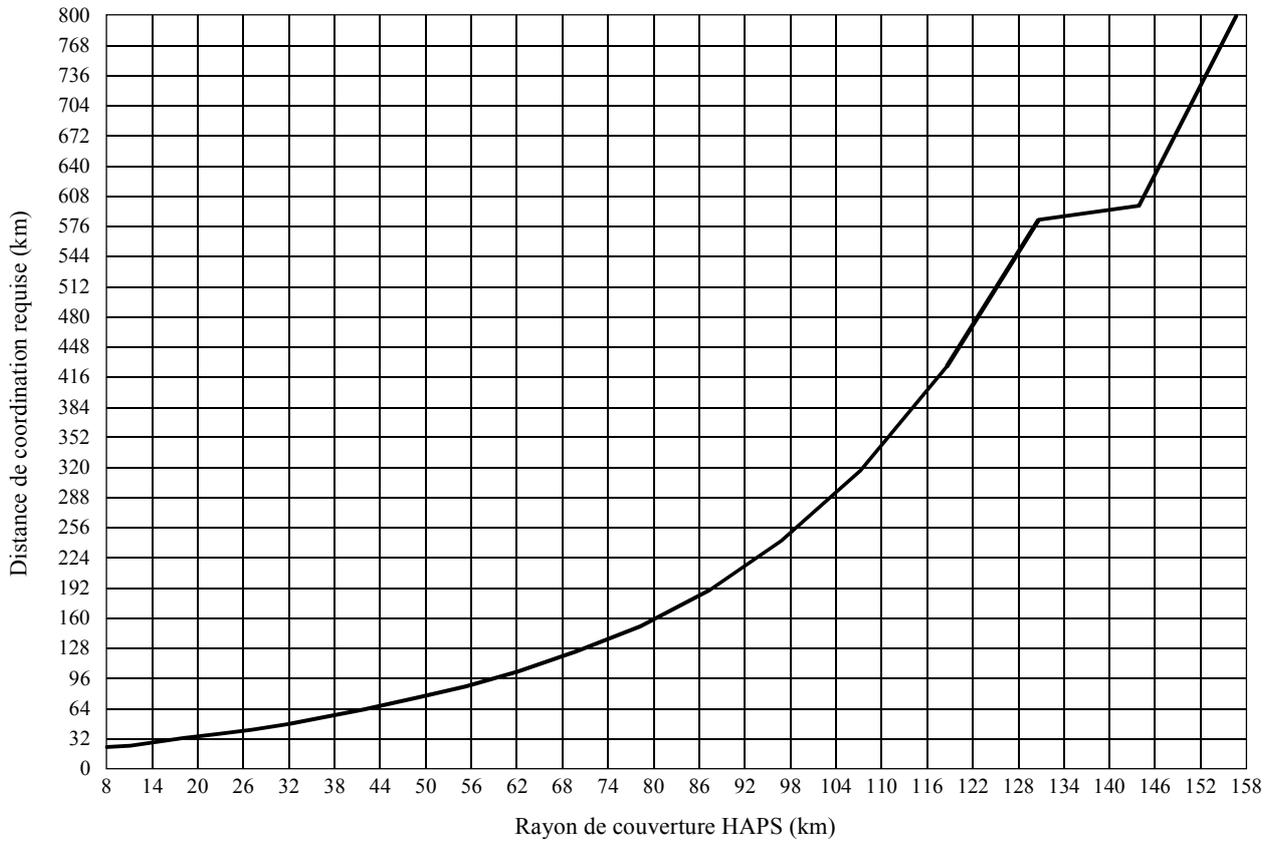


FIGURE 7
**Limite de coordination mesurée depuis le nadir en fonction du rayon de couverture
 (HAPS utilisant le format AMRC)**



1456-07

TABLEAU 1
**Distances de coordination (km) pour différents rayons de couverture (km)
 en utilisant l'équation (22) (HAPS utilisant le format AMRC)**

Rayon de couverture	8	11	15	19	23	27	32	37	43	49	55	62	70	78	87	97	107	119
Distance de coordination (mesurée depuis le nadir)	27	30	34	38	43	48	54	61	69	79	91	106	126	153	190	242	319	433
Distance de coordination (mesurée depuis le centre du faisceau le plus proche)	19	19	19	19	20	21	22	26	26	30	36	44	56	75	103	145	212	314

Si le nombre de faisceaux du système HAPS brouilleur est différent de 700, ou si le critère de brouillage admissible n'est pas le critère $I/N = -10$ dB utilisé ci-dessus, l'équation (22) doit être utilisée pour la détermination de la distance minimale de coordination.

2.3 Brouillage de stations mobiles IMT-2000 par une station HAPS utilisant le format AMRT IMT-2000

La Fig. 2 montre clairement qu'un tel partage est tout à fait possible pour une couverture HAPS de faible rayon. Même pour un rayon de couverture principale de 62 km, le système à tour brouillé peut assurer le service IMT-2000 dans la même bande de fréquences à condition que sa zone de couverture se trouve au moins à 50 km du faisceau principal HAPS le plus proche. La Fig. 8 montre la relation entre la distance de coordination et le rayon de couverture HAPS et la Fig. 9 la distance entre la limite de coordination et le nadir du système HAPS en fonction du rayon de couverture HAPS. Les résultats donnés à la Fig. 9 sont résumés dans le Tableau 2.

FIGURE 8
Distance de coordination en fonction du rayon de la zone de couverture principale HAPS
(HAPS utilisant le format AMRT)

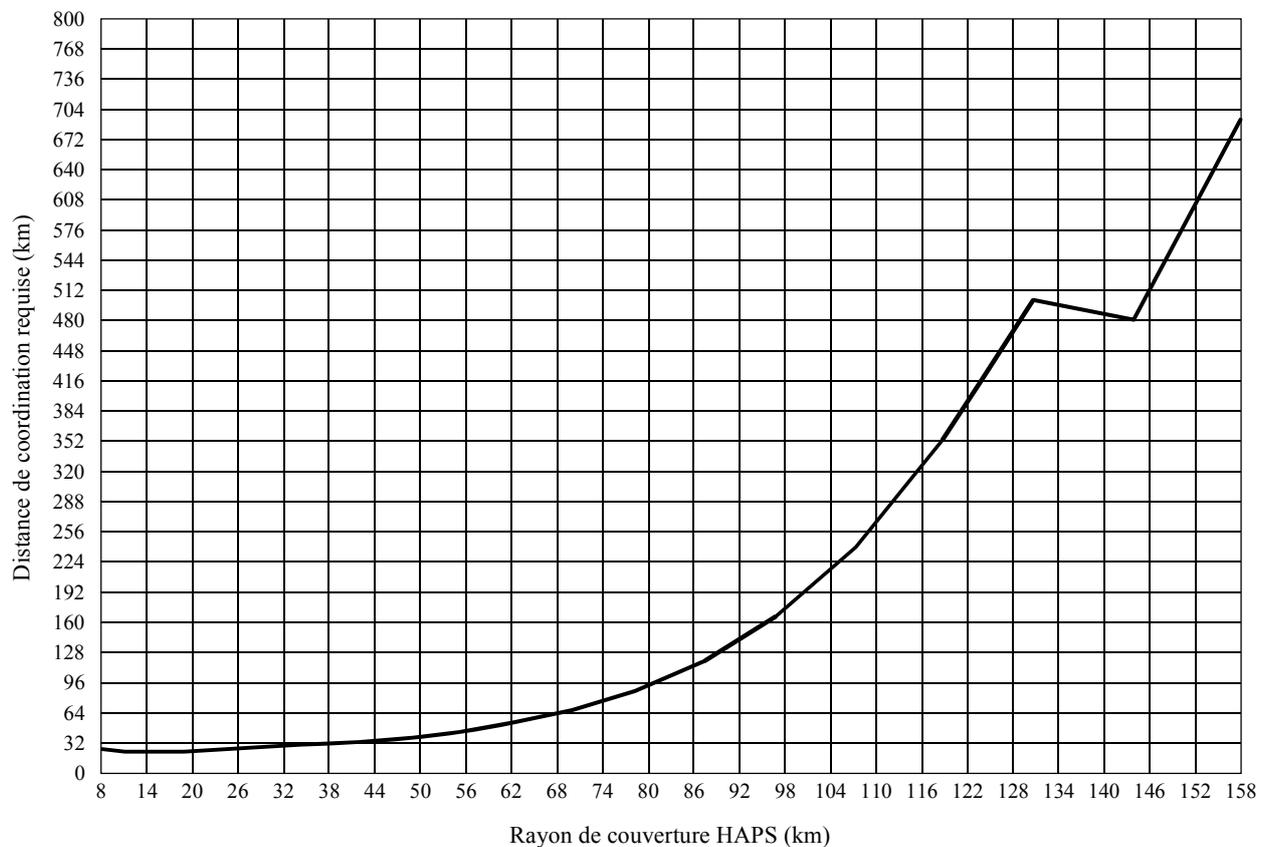
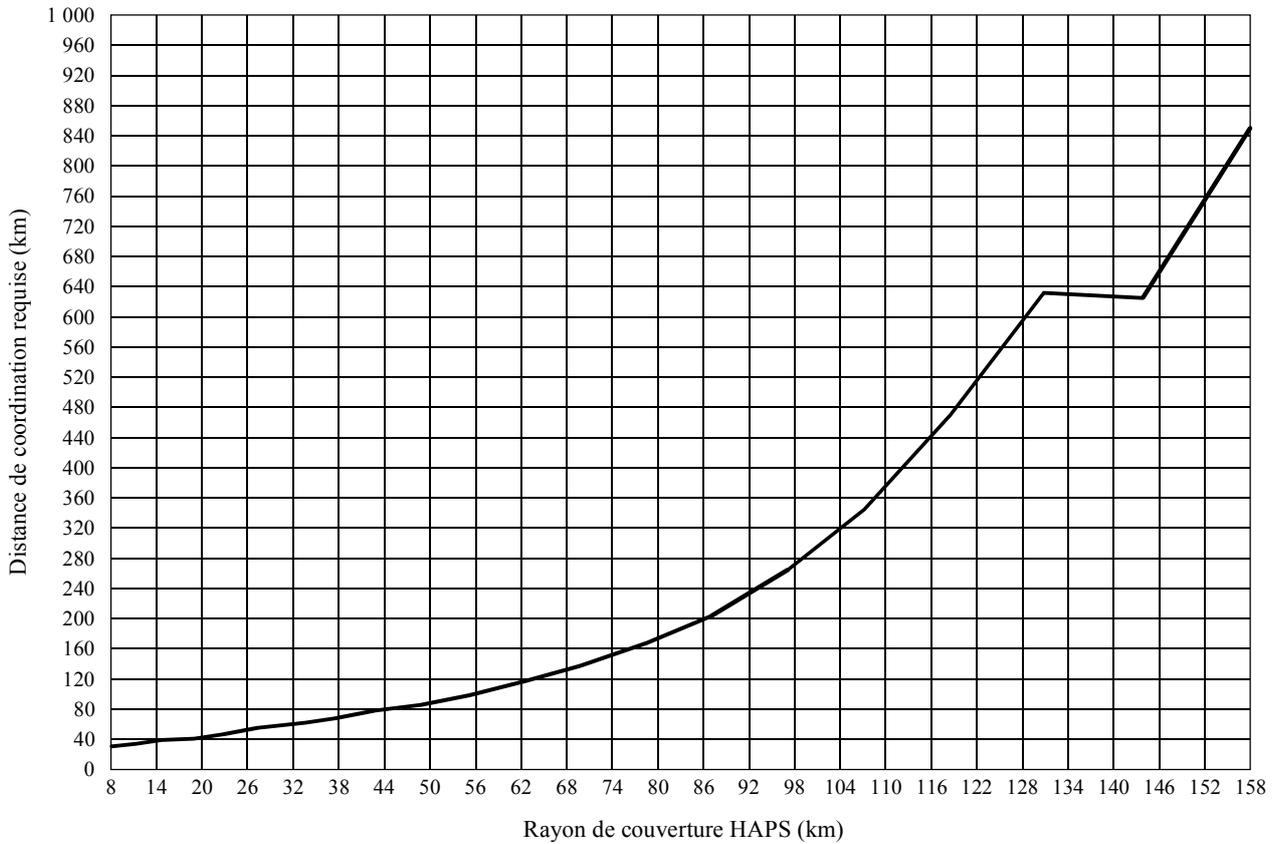


FIGURE 9
**Limite de coordination mesurée depuis le nadir en fonction de la couverture
 (HAPS utilisant le format AMRT)**



1456-09

TABLEAU 2
**Distances de coordination (km) pour différents rayons de couverture (km)
 utilisant l'équation (22) (HAPS utilisant le format AMRT)**

Rayon de couverture	8	11	15	19	23	27	32	37	43	49	55	62	70	78	87	97	107	119
Distance de coordination (mesurée depuis le nadir)	34	38	41	45	50	55	61	68	76	86	98	114	136	164	205	264	353	490
Distance de coordination (mesurée depuis le centre du faisceau le plus proche)	26	26	26	27	27	28	29	30	33	37	43	52	65	86	118	167	246	371

Si le nombre de faisceaux du système HAPS brouilleur est différent de 700, ou si le critère de brouillage admissible n'est pas le critère $I/N = -10$ dB utilisé ci-dessus, l'équation (22) doit être utilisée pour la détermination de la distance minimale de coordination.

2.4 Brouillage des stations de base AMRC DT par un système HAPS

Il existe deux types d'antennes de station de base à savoir le type équidirectif et le type sectoriel. Les antennes types équidirectives de station de base ont un gain crête horizontal d'environ 15 dBi, et une ouverture verticale de faisceau à 3 dB d'environ $5,1^\circ$. En ce qui concerne les antennes sectorielles, un exemple type est une antenne sectorielle de 90° avec une ouverture de faisceau à 3 dB de 90° dans le plan horizontal (azimutal) et une ouverture de faisceau de $2,5^\circ$ dans le plan d'élévation pour un gain crête de 21,5 dBi. Compte tenu de la très faible ouverture de faisceau des antennes sectorielles, même si la station de base brouillée se trouve à un angle d'élévation de 5° par rapport au système HAPS, avec son antenne sectorielle pointant en direction du système HAPS, le gain crête apparent d'antenne pour l'antenne sectorielle sera toujours négatif. Pour des angles d'élévation plus grands, le gain effectif d'antenne devient fortement négatif. On peut donc s'attendre à ce que la distance de coordination soit beaucoup plus faible en général entre les systèmes HAPS et les stations de base équipées d'antennes sectorielles. Pour cette raison, seules les antennes équidirectives seront prises en considération dans la suite de la présente Recommandation.

Les diagrammes de rayonnement d'antenne utilisés pour la présente étude sont conformes aux diagrammes de référence des antennes équidirectives ou sectorielles pour les systèmes point à multipoint utilisés dans les études de partage dans la plage 1-50 GHz (voir la Recommandation UIT-R F.1336).

Dans le mode DRF, une station de base IMT-2000 HAPS ne causera pas de brouillage cocanal dans une station de base sur tour exploitée dans les bandes utilisées par les IMT-2000 terrestres. De même, les stations mobiles HAPS fonctionnant dans les bandes utilisées par les IMT-2000 terrestres ne peuvent pas provoquer de brouillage cocanal à une station mobile d'un système à tour fonctionnant sur le même spectre. La puissance brouilleuse reçue par l'antenne de la station de base brouillée depuis le système HAPS peut s'écrire comme suit:

$$I_{victime} = dfp_{HAPS}(\theta) + G_{victime}(\varphi) + Area_0 - \delta FSL(\theta_0, \theta) \quad (23)$$

où $Area_0$ est l'ouverture apparente d'antenne de $-27,5 \text{ dB(m}^2\text{)}$ pour l'antenne de portable ayant un gain de 0 dBi.

Ce qui donne

$$(I_{re\ue}/N) = (I_{re\ue}/N)_{centre} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) + G_{victime}(\varphi) \quad (24)$$

où φ est l'angle d'élévation de la station de base relativement au système HAPS. Pour une antenne de station de base avec une inclinaison vers le bas finie, le plan d'élévation de l'antenne ne se trouve plus dans le plan horizontal. Pour des antennes sectorielles de station de base, on suppose que l'antenne pointe dans la direction du nadir du système HAPS. Etant donné que l'inclinaison vers le bas diminue la probabilité de réception des brouillages en provenance du système HAPS, on ne prendra pas en considération les angles d'inclinaison vers le bas. Cela conduit à $\varphi = \pi/2 - \theta$.

Etant donné que les antennes de station de base types ont une directivité relativement faible en comparaison avec la directivité des antennes des stations HAPS, on obtient la formule suivante:

$$y = [D(\theta_0) - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))]/[60 + 20 \psi_2 \text{ tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (25)$$

$$R_{coordination} = \text{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2) h + (1 - h/(158 \cos(\theta_0)))(Num \times 10^{-7,3+B(\theta_0, \varphi)} - 1)^{1/2} h \quad \text{km} \quad (26)$$

où:

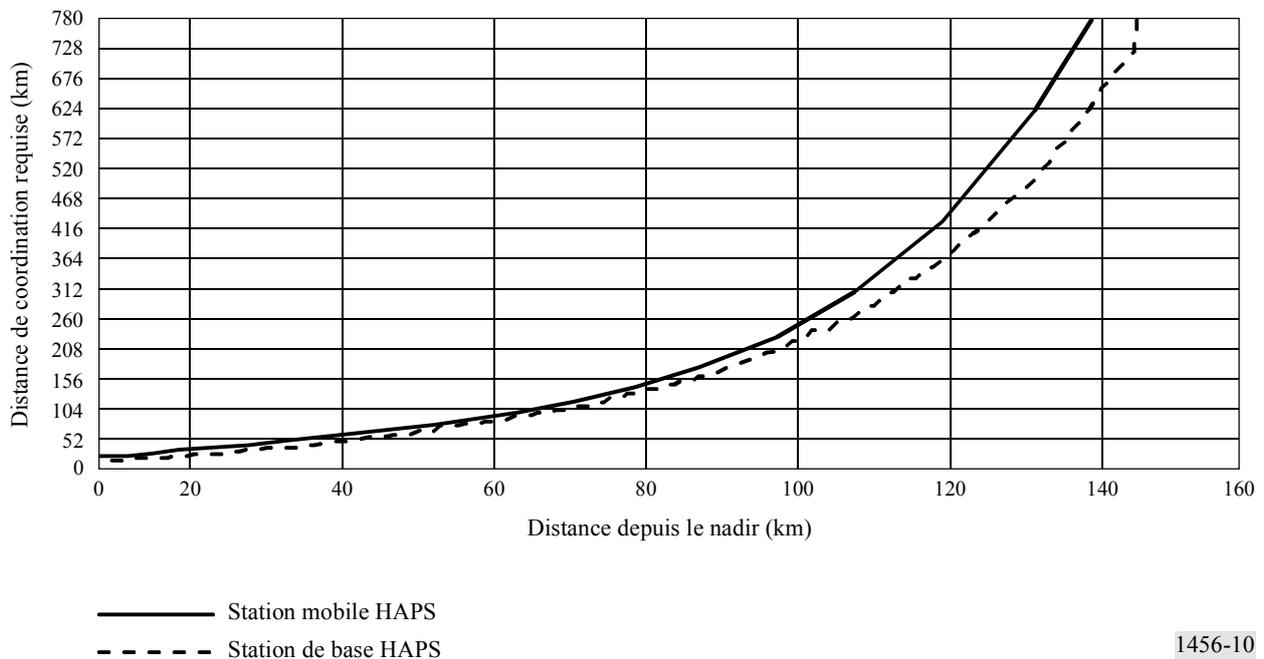
$$D(\theta_0) = (I_{re\grave{c}ue}/N)_{centre} + G_{victime}(\pi/2 - \theta_0) - Seuil - L_N$$

$$B(\theta_0) = 0,1[(I_{re\grave{c}ue}/N)_{centre} + G_{victime}(\pi/2 - \theta_0) - Seuil].$$

Etant donné que même au rayon correspondant à la couverture la plus grande (158 km) considérée ici, l'angle d'élévation, et par conséquent φ si la station de base est supposée être immédiatement à la limite de la couverture HAPS, est d'environ 8° (bien en dehors du lobe principal du plan d'élévation de la station de base), on constate que pour des rayons de couverture HAPS plus faibles (< 100 km), le gain d'antenne de la station de base est essentiellement 0 dBi. Pour des systèmes HAPS ayant un rayon de couverture compris entre 100 km et 160 km, le gain apparent de l'antenne de la station de base peut être compris entre 3 dBi à 4 dBi. Cela augmente très fortement le rayon de coordination.

La Fig. 10 donne la distance de coordination requise entre une station de base sur tour et le système HAPS brouilleur dans le cas où l'antenne de station de base présente un gain de 13 dBi. Est également tracée la distance de coordination requise entre le système HAPS et une station mobile d'un système à tour. Les paramètres HAPS sont supposés être les mêmes, le système HAPS est supposé utiliser le format d'accès AMRC IMT-2000 à étalement direct. On constate que compte tenu de la forte directivité de l'antenne de la station de base, la distance de coordination requise est réellement inférieure à celle correspondant à la station mobile.

FIGURE 10
Distance de coordination en fonction de la distance depuis le nadir
(HAPS utilisant le format AMRC)



Appendice 1 à l'Annexe 1

Diagramme de référence d'antenne pour systèmes HAPS

1 Diagramme de référence d'antenne pour systèmes HAPS utilisant les formats AMRC et AMRT

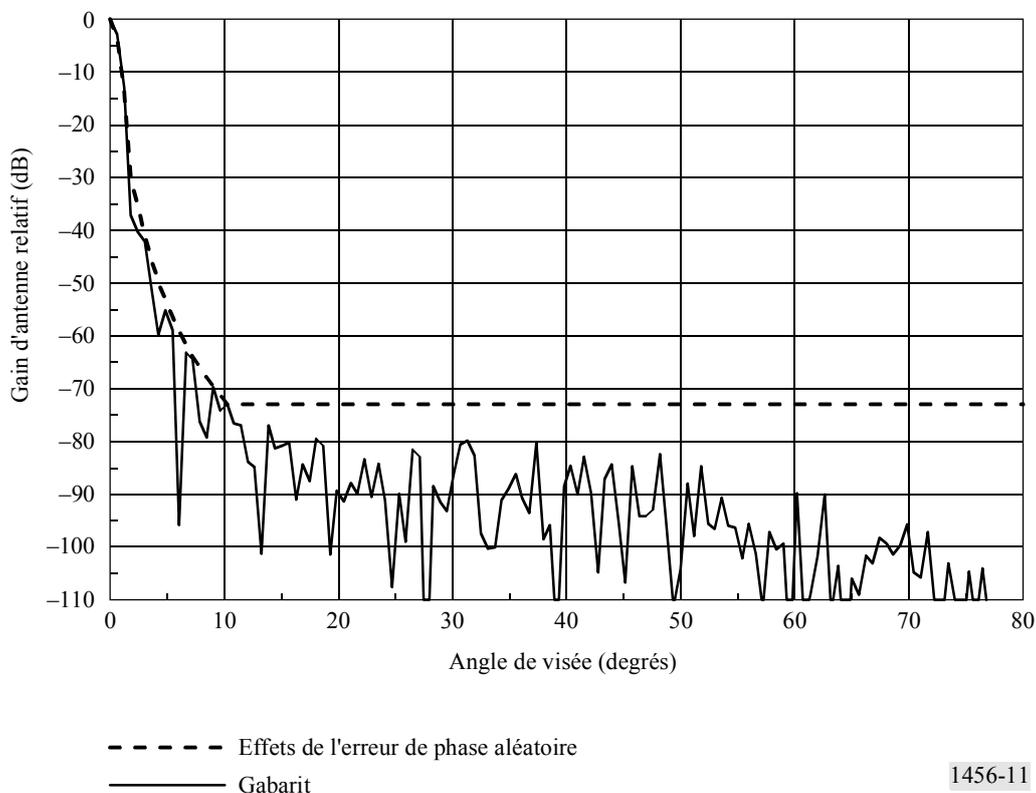
Les diagrammes de rayonnement des antennes placées sur des plates-formes correspondent à ceux des antennes à réseau déphaseur multifaisceaux à hautes performances utilisant la technologie numérique de formation de faisceau et un profil d'illumination en cosinus². La décroissance supposée être de 60 dB/décade, est bien supérieure aux 25 dB/décade d'une antenne parabolique ce qui permet une amélioration importante de la capacité des systèmes AMRC ou AMRT visés par des contraintes de brouillage. Ainsi, le diagramme de rayonnement de référence est donné dans le § 2 du *recommande*.

Le niveau de lobe latéral éloigné de $G_m - 73$ dBi correspond à la tolérance de fabrication de 0,002 pouces. Si la tolérance à la fabrication est inférieure à 0,002 pouces, l'effet de l'erreur de phase est insignifiant.

La Fig. 11 représente le diagramme de rayonnement d'une antenne à réseau déphaseur avec une illumination de sous-ouverture de 10×10 m et un gabarit défini par les équations (1) à (9).

FIGURE 11

Diagramme de rayonnement d'antenne et gabarit associé



Annexe 2

Justification des niveaux de puissance surfacique spécifiés aux § 4 et 5 du *recommande*

1 Détermination des niveaux de densité de puissance surfacique hors bande pour les systèmes HAPS dans les bandes 2 160-2 200 MHz en Région 2 et 2 170-2 200 MHz en Régions 1 et 3

La valeur de la puissance surfacique de $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ indiquée dans le § 4 du *recommande* est fondée sur ce qui suit.

Le niveau de brouillage admissible des rayonnements hors bande est déterminé à partir de l'impératif suivant: le brouillage causé par un système HAPS à une station terrienne mobile équipée d'une antenne présentant un gain de 15 dBi ne doit pas être à plus de 10 dB en dessous du niveau de bruit thermique de $-167,8 \text{ dB(W/4 kHz)}$. Etant donné que cela correspond à une puissance surfacique de $-155 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, en supposant un affaiblissement sur la ligne d'alimentation de 0,5 dB, on obtient un niveau de brouillage admissible de $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Il convient de noter qu'on obtient ainsi un niveau de brouillage admissible qui est, au maximum, à 24,5 dB en dessous du niveau de bruit thermique pour des antennes de stations terriennes mobiles équidirectives et à 4,5 dB en dessous du bruit thermique pour une antenne de station terrienne mobile avec un gain d'antenne de 20 dBi.

Une plus grande tolérance en matière de niveau de brouillage pour des stations mobiles terriennes équipées d'une antenne à gain plus élevé tient à la forte directivité de ces antennes et seules les stations terriennes mobiles qui pointent près d'une station HAPS reçoivent ces niveaux de brouillage plus élevés. Les stations terriennes mobiles équipées d'antennes à gain élevé qui pointent dans d'autres directions recevront une puissance brouilleuse inférieure.

Pour les stations HAPS fonctionnant en mode IMT-2000 AMRC avec étalement du spectre, l'affaiblissement minimal hors bande (O_oB , *out-of-band*) nécessaire pour respecter le critère de brouillage est déterminé par l'inégalité suivante:

$$-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} - \text{AFFAIBLISSEMENT}_{O_oB} \leq -165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad (27)$$

ou $\text{AFFAIBLISSEMENT}_{O_oB} = 66,8 \text{ dB}$. De même, pour les systèmes AMRT HAPS, l'affaiblissement hors bande doit respecter l'inégalité suivante:

$$-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} - \text{AFFAIBLISSEMENT}_{O_oB} \leq -165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad (28)$$

ou $\text{AFFAIBLISSEMENT}_{O_oB} = 68,2 \text{ dB}$.

2 Détermination des niveaux de puissance surfacique hors bande pour les systèmes HAPS dans la bande 2 025-2 110 MHz

Le niveau de la puissance surfacique de $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$ indiqué au § 5.1 du *recommande* pour des angles d'élévation compris entre 0° et 5° a été déterminé comme suit. Le niveau de brouillage admissible des rayonnements hors bande est déterminé à partir de l'impératif suivant: le brouillage causé par un système HAPS à une station du service fixe équipée d'une antenne ayant un gain de 33 dBi et ayant un facteur de bruit de 5 dB ne doit pas être à plus de 20 dB en dessous du niveau de bruit thermique de -139 dB(W/MHz) .

Le niveau de puissance surfacique de $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$ indiqué au § 5.3 du *recommande* pour des angles d'élévation compris entre 25° et 90° est fondé sur les mêmes caractéristiques de protection du récepteur mais avec un gain d'antenne du service fixe de 3,5 dBi dans la direction de la station HAPS.

Annexe 3

Compatibilité entre les systèmes IMT-2000 HAPS et les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite (SETS) fonctionnant dans la bande adjacente 2 025-2 110 MHz

Le réseau spatial se compose de liaisons espace vers espace entre un satellite relais de données en orbite géostationnaire et un satellite en orbite terrestre basse (LEO). Le satellite relais de données émet en direction du satellite LEO dans la bande 2025-2110 MHz et reçoit les émissions en provenance du satellite LEO dans la bande 2200-2290 MHz. Ainsi, un satellite LEO peut subir un brouillage dans la bande 2025-2110 MHz. Un satellite LEO peut également communiquer avec des stations terriennes d'un réseau au sol utilisant des liaisons Terre vers espace. Les liaisons Terre vers espace en direction du satellite LEO s'effectuent dans la bande 2025-2110 MHz et la réception des signaux en provenance d'un satellite LEO dans la bande 2200-2290 MHz.

Le numéro S5.391 du RR renvoie à la Recommandation UIT-R SA.1154 qui recommande:

«1 que les dispositions suivantes soient appliquées pour protéger les services SRS, SES et SETS contre l'ensemble des brouillages causés par les émissions des systèmes mobiles dans la bande 2025-2110 MHz;

1.1 que le brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur de l'engin spatial, sauf dans le cas d'une liaison espace-espace, ne dépasse pas -180 dB(W/kHz) pendant plus de 0,1% du temps;

1.2 que, dans le cas de liaisons espace-espace, le brouillage cumulatif aux bornes d'entrée du récepteur de l'engin spatial ne dépasse pas -184 dB(W/kHz) pendant plus de 0,1% du temps;».

Certes, la Recommandation 622 (CMR-97) recommande le recours aux progrès techniques pour réduire au minimum la largeur de bande totale requise pour les services spatiaux, mais le numéro S5.391 du RR et la Recommandation UIT-R SA.1154 recommandent que seuls les systèmes mobiles à faible densité soient autorisés de fonctionner dans ces bandes.

Etant donné que le numéro S5.391 du RR porte uniquement sur les brouillages dans la bande, il a semblé nécessaire de décroître de 5 dB le niveau de densité spectrale dans la bande recommandée, ce qui donne un niveau de -159 dB(W/MHz) pour le brouillage cumulatif admissible à l'entrée du récepteur d'une station terrienne pendant 99,9% du temps.

Considérons maintenant les brouillages que peuvent causer des stations HAPS aux satellites LEO fonctionnant dans le réseau spatial et dont la réception se fait dans la bande 2025-2110 MHz. Les configurations intéressantes sont représentées aux Fig. 12a et 12b. Le brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur du satellite LEO ne doit pas dépasser -219 dB(W/Hz) pendant plus de 0,1% du temps.

FIGURE 12a

Brouillage causé par un système HAPS à un satellite LEO du service de recherche spatiale, d'exploitation spatiale ou SETS

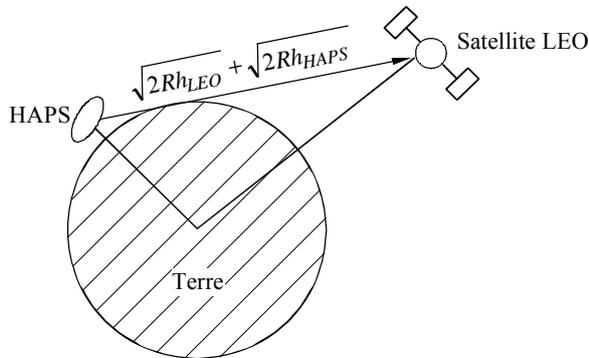
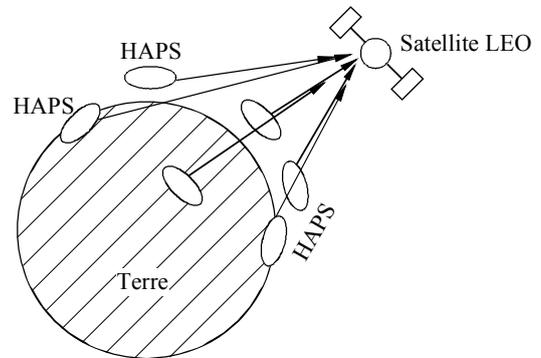


FIGURE 12b

Brouillage causé par plusieurs systèmes HAPS à un satellite LEO du service de recherche spatiale, d'exploitation spatiale ou SETS



1456-12

Les antennes HAPS ne pointent pas vers le satellite LEO, par conséquent, il n'y a pas de brouillage causé par le lobe principal au lobe latéral. Pour le brouillage du lobe principal par le lobe latéral proche, uniquement un seul faisceau HAPS peut être impliqué car les différents faisceaux de transmission HAPS pointent vers des directions différentes. Cette situation n'est pas très différente de celle des brouillages entre systèmes HAPS et satellites de relais de données, à ceci près que l'affaiblissement en espace libre est légèrement moindre en raison de la faible altitude du satellite (~250 km). Dans ce scénario de brouillage, le satellite LEO est juste visible depuis le système HAPS et par conséquent la distance entre le système HAPS et le satellite LEO est donnée approximativement par la relation $\sqrt{2Rh_{LEO}} + \sqrt{2Rh_{HAPS}}$, ou 2 295 km, ce qui correspond à un affaiblissement en espace libre de 166 dB. Le brouillage causé à un satellite en orbite basse est capté dans le système de réception par les lobes latéraux de l'antenne dont le gain est de 0 dBi.

$$\text{Seuil p.i.r.e.} = -159 \text{ dB(W/MHz)} + 166 \text{ dB} - 0 \text{ dBi} + 2 \text{ dB} = 9 \text{ dB(W/MHz)} \quad (29)$$

Par conséquent, même en l'absence d'affaiblissement hors bande, la probabilité de brouillage est nulle.

A l'intérieur de la zone visible depuis le satellite LEO, il y a en général plusieurs réseaux HAPS assurant une couverture avec recouvrement. Pour un satellite situé à une altitude d'environ 250 km, dont la zone visible correspond approximativement à 12 fois la zone de couverture HAPS, on peut considérer que l'on voit depuis un seul satellite LEO de science spatiale 12 systèmes HAPS au maximum. Pour simplifier, on peut supposer que les réseaux HAPS sont approximativement uniformément répartis dans la zone visible depuis le satellite. Etant donné que chaque station HAPS dispose d'un nombre important d'antennes, la possibilité d'un brouillage cumulatif existe.

Comme le gain de l'antenne dans les lobes latéraux est une fonction de la fréquence centrale du réseau d'antenne, on suppose ici prudemment que les lobes latéraux éloignés des antennes HAPS présentent essentiellement un gain de 0 dBi. Dans le cas de 700 faisceaux HAPS, on a une densité spectrale de p.i.r.e. cumulative maximale de 11,5 dB(W/MHz). Environ 12 plates-formes HAPS peuvent se trouver dans la zone de couverture d'un satellite LEO. La densité spectrale brouilleuse cumulative parvenant au satellite LEO depuis 12 systèmes HAPS est donnée par:

$$P_{\Sigma_i} = P_s \frac{n_a(h) c^2}{(4 \pi f)^2 R h} [\ln(d_m) - \ln(h)] \quad (30)$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

où:

- P_s : contribution de densité spectrale de p.i.r.e. d'un seul système HAPS (11,5 dB(W/MHz))
- f : fréquence d'émission
- $n_a(h)$: nombre total de systèmes HAPS dans la zone de brouillage (~12)
- c : vitesse de la lumière
- d_m : distance maximale avec le brouilleur
- R : rayon de la Terre
- h : altitude de l'orbite LEO moins l'altitude du système HAPS.

L'affaiblissement moyen sur le trajet peut être calculé à partir de l'équation (30). Pour un satellite situé à 250 km d'altitude, cet affaiblissement est de 158 dB, ce qui donne un brouillage cumulatif à l'entrée du récepteur LEO de -138 dB(W/MHz) (autorisant une discrimination de polarisation de 2 dB), comme suit:

$$\text{Seuil p.i.r.e.} = -159 \text{ dB(W/MHz)} + 158 \text{ dB} - 0 \text{ dBi} + 2 \text{ dB} - 10 \log(12) = -9,8 \text{ dB(W/MHz)} \quad (31)$$

qui nécessite un affaiblissement hors bande d'au moins 21 dB afin d'atteindre le niveau seuil de -159 dB(W/MHz).

Ces considérations sont également valables pour un satellite LEO exploité dans un réseau terrestre dont les antennes pointent vers la station terrienne. Dans ce cas, le brouillage admissible cumulatif hors bande à l'entrée du récepteur qui est de -215 dB(W/Hz) (99,9% du temps) est de 4 dB supérieur à celui d'une liaison espace-espace. Par conséquent, l'affaiblissement minimal hors bande requis est de 17 dB.

Etant donné que les spécifications des stations mobiles IMT-2000 HAPS sont les mêmes que celles des stations mobiles conventionnelles, l'analyse de partage ne différencierait que si le nombre d'utilisateurs par unité de surface serait très différent pour les systèmes IMT-2000 à tour et les systèmes IMT-2000 HAPS terrestres. Comme on estime que la densité des systèmes HAPS est à peu près la même que celle de systèmes à tour, sauf dans le cas des centres villes où les systèmes à tour sont censés être en mesure de prendre en charge une densité d'utilisateurs plus élevée, le critère de partage entre des portables mobiles HAPS et des services scientifiques spatiaux ne devraient pas être différents.