

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.1569
(05/2002)

**Caractéristiques techniques et
d'exploitation du service fixe utilisant des
stations placées sur des plates-formes à
haute altitude dans les
bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz**

Série F
Service fixe



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 F.1569*

Caractéristiques techniques et d'exploitation du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

(2002)

Domaine d'application

La présente Recommandation contient les caractéristiques techniques et d'exploitation du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz. Les caractéristiques spécifiées sont le facteur de réutilisation des fréquences de la cellule illuminée par les faisceaux ponctuels de l'antenne HAPS, l'effet d'écran de la coque métallisée du dirigeable et d'autres paramètres techniques types des systèmes HAPS à utiliser dans les études de partage avec d'autres systèmes.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nouvelles techniques faisant intervenir des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) dans la stratosphère sont en cours de mise au point;
- b) que la bande 31,3-31,8 GHz est attribuée aux services de radioastronomie, d'exploration de la Terre par satellite (passive) et de recherche spatiale (passive) et qu'il est nécessaire de protéger de façon appropriée ces services contre les rayonnements non désirés des stations au sol HAPS exploitées dans la bande 31-31,3 GHz, compte tenu des critères de brouillage indiqués dans les Recommandations pertinentes de l'UIT-R,

reconnaissant

- a) que les bandes 27,9-28,2 GHz et 31-31,3 GHz peuvent de plus être utilisées par des stations HAPS du service fixe dans certains pays à condition que ces stations ne causent pas de brouillage préjudiciable et ne prétendent à aucune protection,

notant

- a) que les récepteurs des systèmes sur HAPS exploités dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz sont conçus pour fonctionner en présence d'un brouillage composite maximum d'un niveau atteignant 10% du bruit thermique du système récepteur au niveau des plates-formes et des stations au sol HAPS,

recommande

- 1** que les systèmes HAPS utilisant les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz soient exploités entre les altitudes de 20 et 25 km;
- 2** que le facteur de réutilisation des fréquences de la cellule illuminée par les faisceaux ponctuels de l'antenne HAPS soit au moins égal à 4 dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz (voir la Note 1);

* La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications de forme à la présente Recommandation en décembre 2009, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1-5.

3 que l'affaiblissement du signal dû à l'effet d'écran de la coque métallisée du dirigeable dans la bande de fréquences 18-32 GHz soit calculé sur la base des relations suivantes:

0	dB	pour	$0^\circ \leq \theta < 90^\circ$
$0,5(\theta - 90)$	dB	pour	$90^\circ \leq \theta < 120^\circ$
15	dB	pour	$120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

avec θ l'angle séparant la direction considérée du nadir du système HAPS;

4 qu'une technique de régulation automatique de la puissance d'émission (RAPE) puisse être utilisée pour contribuer à réduire la probabilité de brouillage inacceptable des autres services et à améliorer la disponibilité de la liaison dans le système HAPS;

5 que la limite supérieure du nombre de porteuses émettant simultanément au niveau de la station au sol du système sur HAPS, déterminée par la largeur de bande disponible de la liaison montante et par la largeur de bande de chaque signal émetteur, soit prise en considération dans les études de partage;

6 que le système sur HAPS décrit à l'Annexe 1 soit utilisé pour les études appropriées réalisées au sein de l'UIT-R dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz.

NOTE 1 – L'expression «facteur de réutilisation des fréquences» employée au *recommande 2* désigne le nombre de sous-bandes de fréquences obtenu en subdivisant la bande initiale, afin d'assurer l'efficacité d'utilisation des fréquences dans un système de radiocommunication à configuration cellulaire. Par exemple, si le facteur de réutilisation des fréquences est égal à 4, l'une des sous-bandes de la bande de fréquences divisée est utilisée à nouveau dans une cellule sur quatre.

ANNEXE 1

Paramètres techniques types pour le service fixe utilisant des HAPS dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

1 Introduction

Cette Annexe définit des caractéristiques techniques types pour le service fixe utilisant des stations HAPS dans la gamme de fréquences 18-32 GHz et principalement dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz susceptibles d'être utilisées dans les études appropriées.

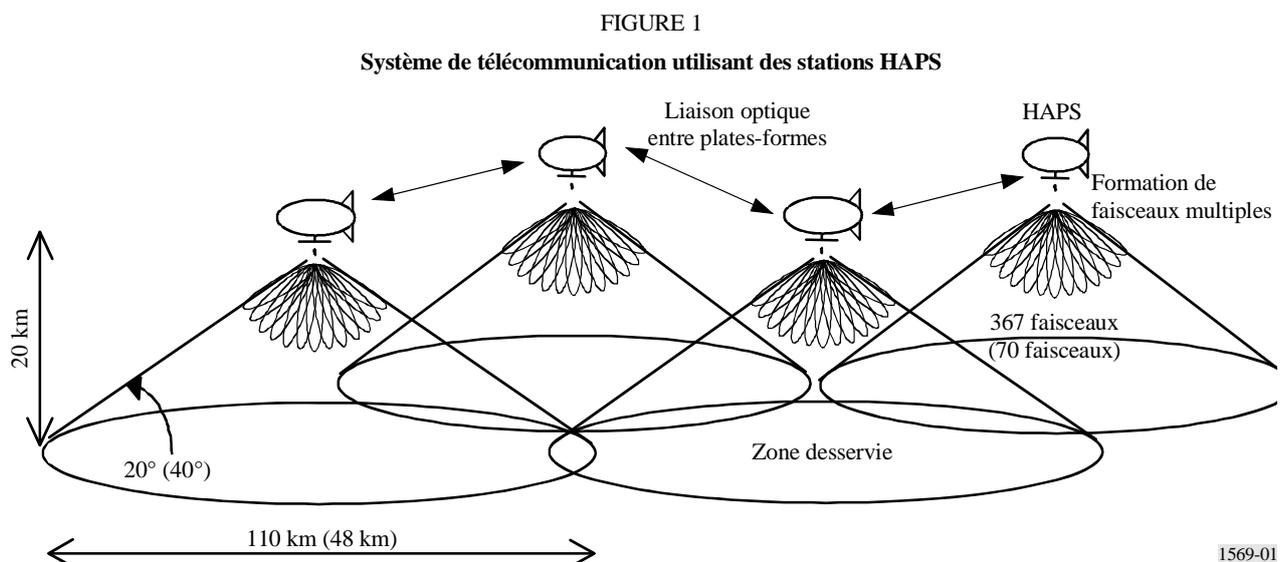
2 Description d'un exemple type de système sur HAPS

Un exemple type de système sur HAPS fonctionnant dans la gamme de fréquences 18-32 GHz peut présenter les caractéristiques suivantes:

- station HAPS installée sur un dirigeable réglé pour conserver un emplacement nominal fixe à une altitude de 20 à 25 km;

- alimentation électrique du dirigeable suffisante pour assurer la maintenance du système et l'exécution des opérations de télécommunication à partir des batteries solaires installées sur la surface supérieure du dirigeable et des batteries secondaires rechargées dans la journée en vue de leur utilisation nocturne;
- dirigeable équipé d'une antenne multifaisceaux à sa partie inférieure, assurant des liaisons d'accès vers les stations au sol, selon un certain angle d'élévation minimum;
- chaque faisceau produit par l'antenne multifaisceaux correspond à une cellule au sol, comportant un facteur de réutilisation des fréquences au moins égal à quatre;
- le gaz du dirigeable est contenu dans une enveloppe en matériau stratifié, comportant une couche métallique, par exemple en aluminium, censée arrêter les ondes électromagnétiques aux fréquences voisines de 18-32 GHz ou supérieures;
- le déploiement de plusieurs dirigeables permet de couvrir une vaste étendue au sol et les stations embarquées sont connectées entre elles par des liaisons sans fil, par exemple des liaisons par onde optique, de façon à constituer un réseau maillé entièrement sans fil.

La Fig. 1 représente un système de télécommunication utilisant des stations HAPS. Deux exemples correspondant à des angles d'élévation minimaux de 20° et 40° sont représentés.



3 Altitude des stations HAPS

Le numéro 1.66A du RR définit pour les stations HAPS une altitude comprise entre 20 et 50 km. La couverture en visibilité directe d'une station HAPS augmente en fonction de l'altitude. Toutefois la densité atmosphérique diminue notablement aux altitudes plus importantes. Le Tableau 1 indique la densité et la pression atmosphériques en fonction de l'altitude. A une altitude de 50 km, la densité atmosphérique est très inférieure à celle observée à 20 km, puisque le rapport des densités correspondantes est d'environ 1/90. Autrement dit un dirigeable placé à une altitude de 50 km a besoin de 90 fois plus d'hélium qu'à une altitude de 20 km, ce qui exige une longueur de coque multipliée par 4,5 (airship body). S'il faut un dirigeable de 200 m de long placé à une altitude de 20 km pour transporter un certain poids, pour transporter le même poids à une altitude de 50 km il faut un dirigeable de 900 m de long. Or, les technologies disponibles tant actuellement que dans un proche avenir ne permettent absolument pas de construire un dirigeable aussi gigantesque.

TABLEAU 1

Densité et pression atmosphériques dans la stratosphère

Altitude (km)	Densité atmosphérique (kg/m³)	Pression (hpa)
0	1,22	1 013
15	0,195	121
20	0,0889	55,3
25	0,0401	25,5
30	0,0184	12
50	0,00103	0,798

La Fig. 2 représente un profil du vent moyen dans la haute atmosphère. Au voisinage des altitudes comprises entre 20 et 25 km, la vitesse du vent passe par un minimum local; elle augmente ensuite au-delà de 25 km et atteint à une altitude de 50 km une valeur quatre fois supérieure à celle observée à 20 km. Le maintien en position du dirigeable contre le vent, en un point fixe nominal, exige une puissance de propulsion nettement plus élevée, laquelle exige à son tour des batteries plus lourdes pour assurer l'exploitation nocturne. De ce point de vue, l'exploitation d'un dirigeable à une altitude inférieure à 25 km se justifie dans l'état actuel de la technologie.

Il ressort des considérations ci-dessus que l'altitude d'une station HAPS ne dépasse pas environ 25 km pour des raisons techniques.

4 Valeur minimum de l'angle d'élévation opérationnel

La valeur minimum de l'angle d'élévation opérationnel détermine la zone desservie par une station HAPS donnée. La zone desservie est d'autant plus étendue que l'angle d'élévation minimum supposé est plus petit; toutefois, le trajet exposé aux évanouissements dus à la pluie est allongé et la p.i.r.e. requise augmente, puisqu'il faut augmenter la marge de protection correspondante.

La valeur minimum type de l'angle d'élévation opérationnel pour un système sur HAPS utilisant les bandes 28/31 GHz peut dépasser 20°. Une station exploitée selon un angle d'élévation plus petit doit être dotée d'une p.i.r.e. plus élevée pour les liaisons montantes et descendantes, en raison de la longueur accrue du trajet de propagation et de l'intensification de l'atténuation due à la pluie. Il pourrait en outre en résulter des difficultés de partage des fréquences entre le système sur HAPS et d'autres systèmes, notamment des systèmes à satellites, des systèmes du service fixe, des services scientifiques spatiaux, etc. De plus, les zones d'ombre créées par les bâtiments ou le relief altèrent la disponibilité locale aux angles d'élévation réduits dans les zones urbaines ou les régions montagneuses.

Des angles d'élévation inférieurs à 20° peuvent être utilisés si les conditions suivantes sont observées:

- les p.i.r.e. des liaisons montantes et descendantes selon un angle d'élévation supérieur à 20° sont maintenues à des valeurs constantes et peuvent être renforcées uniquement pour les liaisons utilisant un angle d'élévation plus petit;
- la détermination d'une valeur minimum de l'angle d'élévation adaptée aux conditions d'exploitation doit observer les critères de partage avec les autres services présents dans chaque zone; et
- une RAPE est utilisée de façon appropriée sur les liaisons montantes et descendantes.

L'utilisation d'une plus grande valeur de l'angle d'élévation minimum, par exemple 40°, est également possible afin de limiter le brouillage causé à/par d'autres services et de façon à améliorer la disponibilité de l'emplacement eu égard aux zones d'ombre créées par les bâtiments ou le relief. Plus l'angle d'élévation minimum est important, plus il faudra de stations HAPS pour couvrir une certaine zone au sol, tandis que le nombre total de faisceaux ponctuels pour l'ensemble des stations HAPS demeure inchangé.

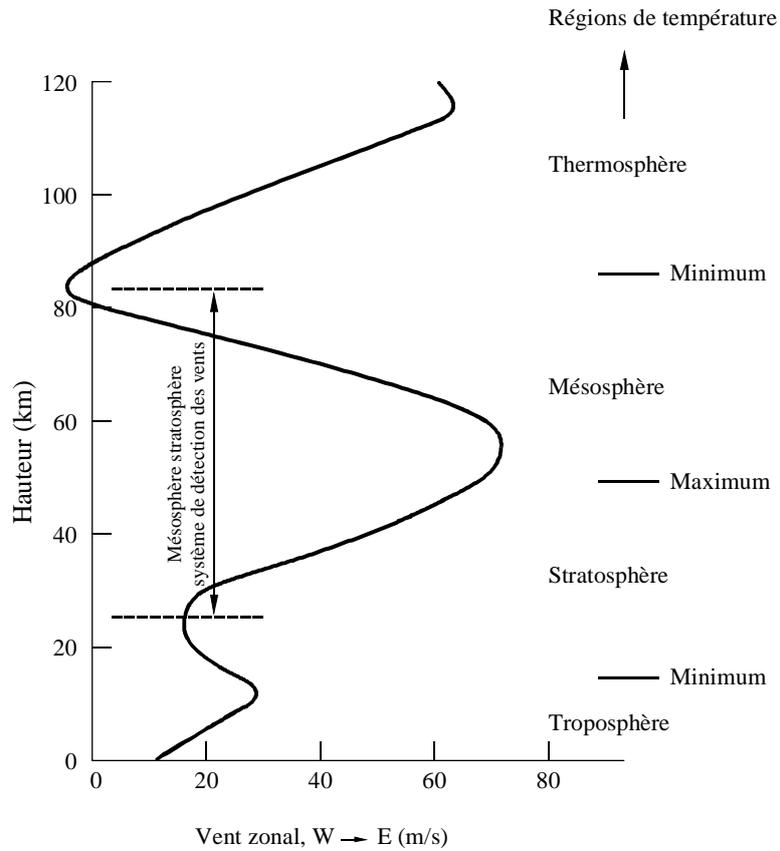
5 Antenne multifaisceaux embarquée

Le choix d'une antenne à faisceaux multiples (antenne multifaisceaux) est préférable pour pouvoir couvrir un grand nombre de stations au sol d'abonnés au moyen d'une seule station HAPS avec un rendement élevé de réutilisation des fréquences.

La Fig. 3 représente un exemple type de zone desservie par une antenne multifaisceaux, lorsque l'angle d'élévation minimum est de 20°. Le nombre de faisceaux ponctuels est égal à 367. Chaque faisceau individuel dessert en l'occurrence une zone d'étendue identique (jusqu'à 6 km de diamètre). Il suffit à cet effet d'attribuer à chaque faisceau ponctuel un gain d'antenne différent en fonction de son angle d'élévation (Tableau 2) et d'utiliser des diagrammes de faisceau elliptiques. Cette conception multifaisceaux réduit le brouillage causé à/par d'autres services sur les trajets aux faibles angles d'élévation, puisque les faisceaux à la limite de la zone de couverture et à petit angle d'élévation se caractérisent par un gain élevé, une ouverture plus étroite et une plus faible valeur des lobes latéraux par comparaison aux faisceaux voisins du centre de la zone desservie. Le bilan de la liaison suppose un gain de -3 dB au bord du faisceau ponctuel. La Fig. 4 représente un exemple de diagramme de faisceau elliptique relatif au faisceau ponctuel (angles d'élévation de 20° et 90°). Le diagramme de rayonnement relatif au faisceau ponctuel dont l'angle d'élévation est de 90° est indiqué dans la Recommandation UIT-R F.1245 qui correspond à un faisceau circulaire. Les diagrammes elliptiques relatifs aux faisceaux ponctuels, dont l'angle d'élévation est inférieur à 90°, sont obtenus par modification des diagrammes de rayonnement de référence indiqués dans la Recommandation UIT-R F.1245. Il s'agit de deux diagrammes de la Recommandation UIT-R F.1245 relatifs au grand axe et au petit axe de l'ellipse. Pour les études de partage utilisant la valeur du lobe latéral de ce diagramme elliptique, il est préférable à des fins de sécurité de considérer le lobe latéral du grand axe, même s'il s'agit de celui du petit axe (trait plein de la Fig. 4). Le diagramme de la Recommandation UIT-R F.1245 est également applicable sans modification à l'antenne de la station au sol HAPS.

FIGURE 2

Profil de vent moyen dans la haute atmosphère



Intensité générale des vents zonaux dans la haute atmosphère - répartition verticale à 45° N en janvier (Atmosphère de référence internationale du Comité de la recherche spatiale, Akademie-Verlag, 1972)

1569-02

FIGURE 3

Exemple de zone desservie illuminée par une antenne multifaisceaux embarquée à bord d'une station HAPS, exploitée dans les bandes 28/31 GHz (Faisceaux ponctuels desservant des zones identiques)

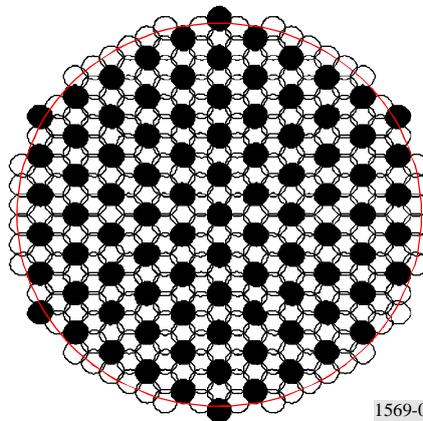


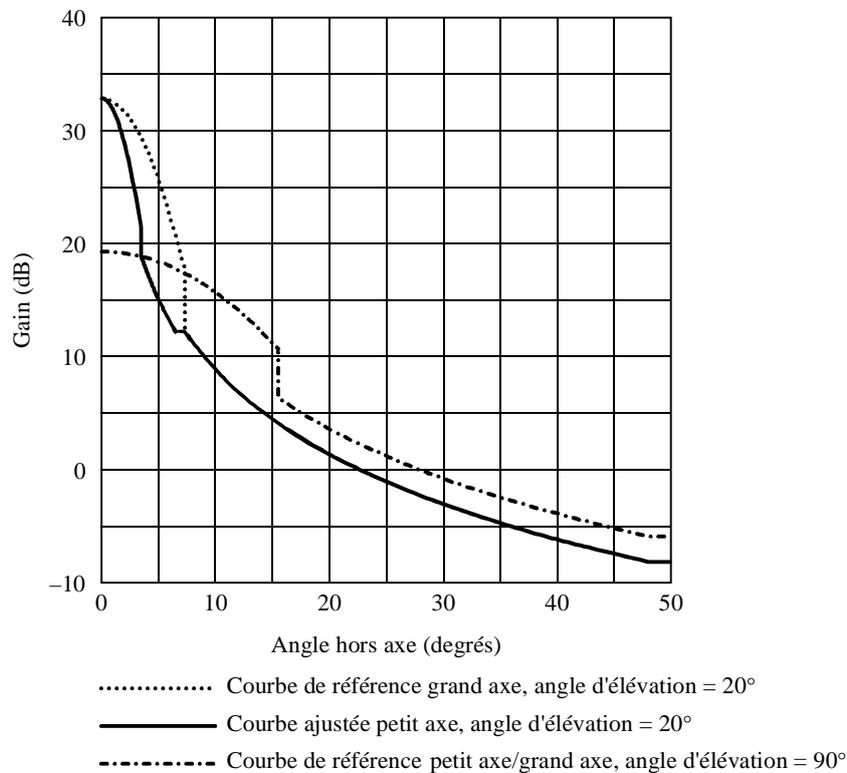
TABLEAU 2

Exemple de valeurs de gain attribuées aux faisceaux ponctuels

Angle d'élévation au centre du faisceau (degrés)	81	66	53,9	44,7	37,8	32,6	28,5	25,2	22,5	20,3	20
Valeur de crête du gain du faisceau ponctuel (dBi)	19,5	19,7	20,8	22,4	24,2	25,9	27,6	29,1	30,5	31,9	32,5

FIGURE 4

Gabarit elliptique type d'un faisceau ponctuel
(angle d'élévation = 20° et 90°)



1569-04

Le facteur de réutilisation des fréquences des faisceaux ponctuels est supposé égal à quatre pour les études de partage, puisque la liaison descendante de la station HAPS risque alors de causer le niveau de brouillage global le plus préjudiciable à d'autres services coprimaires. Il peut s'avérer difficile de maintenir en deçà d'un niveau admissible la discrimination angulaire entre les faisceaux, avec un facteur de réutilisation inférieur à quatre.

6 Effet d'écran du dirigeable sur le rayonnement vers l'arrière

L'enveloppe du dirigeable HAPS sera revêtue d'une pellicule métallique (généralement en aluminium). Ce revêtement fera obstacle au rayonnement vers l'arrière provenant de l'antenne embarquée installée à la base du dirigeable, puisque la longueur de celui-ci sera nettement supérieure à la longueur d'onde du signal.

Pour déterminer l'importance de l'atténuation due à l'effet d'écran, considérons le cas simple de dispersion à deux dimensions représenté à la Fig. 5. La puissance électromagnétique relative reçue à la surface du cylindre dans la direction φ (degrés) est exprimée par l'équation (1) en fonction de la fréquence de la porteuse et du rayon du cylindre.

$$P = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{\pi ka} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \frac{(-j)^{n-1}}{H_n^{(1)'}(ka)} \cos n\varphi \right| \quad \text{dB} \quad (1)$$

avec:

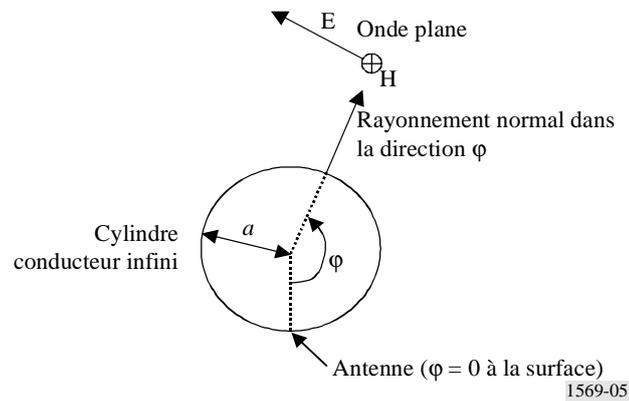
a : rayon de cylindre

$k = 2\pi/\lambda$ (λ , longueur d'onde de la porteuse)

ϵ_n ($n = 0$), 1 ($n \neq 0$) et $H_n^{(1)'}(x)$: dérivé d'ordre n de la fonction de Hankel de première espèce.

FIGURE 5

Modèle de dispersion bidimensionnelle d'une onde plane (onde H)
par un cylindre conducteur infini



La Fig. 6 représente la puissance électromagnétique relative reçue à la surface du cylindre lorsque $a = 7,5$ m et pour une fréquence de porteuse = 20 GHz. L'affaiblissement dû à l'effet d'écran augmente en fonction du rayon du cylindre ou de la fréquence. Le gabarit d'affaiblissement exprimé par l'équation (2) correspondant à l'effet d'écran du corps du dirigeable HAPS pourrait donc être applicable au système HAPS utilisant un dirigeable dont le rayon est supérieur à 7,5 m et la fréquence de porteuse supérieure à 20 GHz:

$$\begin{array}{lll} 0 & \text{dB} & \text{pour } 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0,5(\theta - 90) & \text{dB} & \text{pour } 90^\circ \leq \theta < 120^\circ \\ 15 & \text{dB} & \text{pour } 120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{array} \quad (2)$$

où θ est l'espacement angulaire de la direction considérée (par exemple vers un satellite) par rapport au nadir de la station HAPS, tel qu'indiqué à la Fig. 7. Notons que le gain d'antenne pour $\theta = 90^\circ$ devrait être utilisé dans le calcul de la puissance de rayonnement vers l'arrière émise par l'antenne à la base du dirigeable, puisque l'onde émise dans la direction de $\theta = 90^\circ$ se propage le long de la surface arrondie de l'appareil et correspond à un rayonnement dirigé vers l'arrière.

FIGURE 6

Puissance induite dans la direction φ avec $a = 7,5$ m
et pour une fréquence = 20 GHz

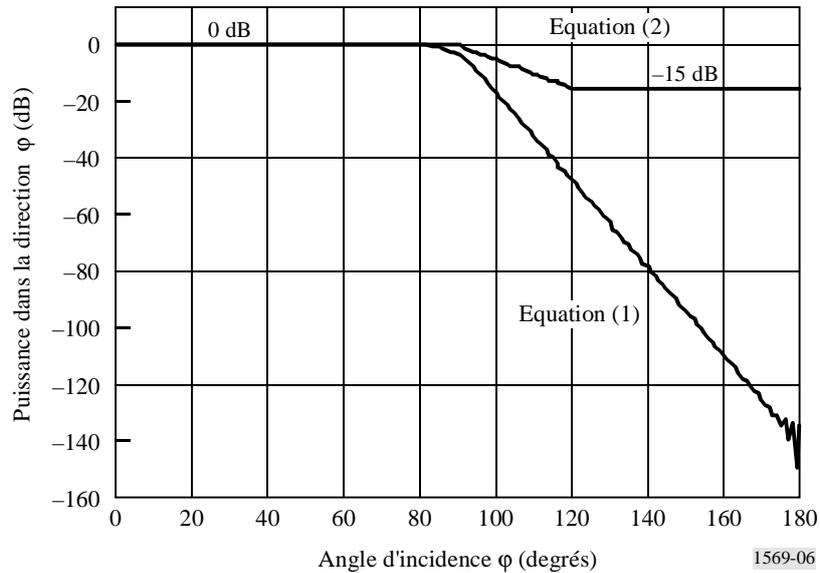
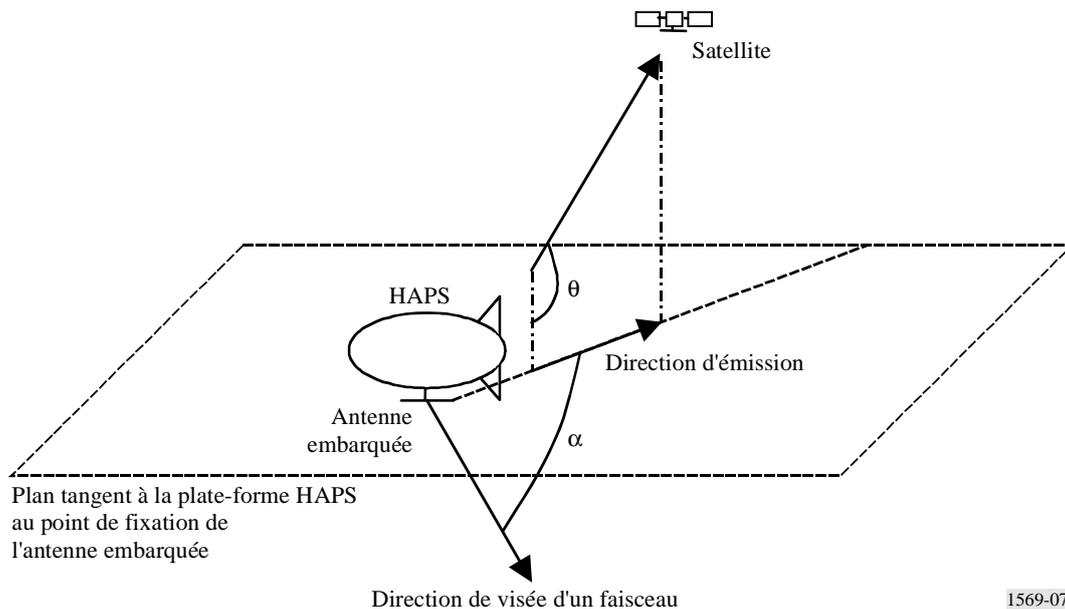


FIGURE 7

Direction du rayonnement en cas de brouillage du satellite par la station HAPS



7 RAPE

Pour une puissance d'émission fixée, la nécessité d'une importante marge destinée à compenser les évanouissements dus à la pluie risque de provoquer le brouillage d'autres services par temps clair. La mise en place d'un dispositif de RAPE contribue donc efficacement à réduire la probabilité de brouillage.

La régulation RAPE est réalisée par un amplificateur à grande puissance à gain variable, dont le module d'amplification est muni d'un atténuateur réglable. Différentes options sont possibles en

matière d'échelon de gain et déterminent en conséquence le coût de ce dispositif. Le dispositif le plus simple pourrait être constitué d'un atténuateur à échelon unique, qui est connecté ou non.

Lorsque le système HAPS utilise la bande de fréquences 31-31,3 GHz pour la liaison montante, le régulateur RAPE équipant l'émetteur de la station au sol HAPS réduit par temps clair le brouillage sur la liaison montante du service fixe classique utilisant la même bande, tandis que la puissance brouilleuse augmente par temps de pluie. La fraction du temps et des emplacements pour lesquels un brouillage est observé peut donc être totalement réduite dans une exploitation en tous temps sans perte de disponibilité de la liaison pour le système sur HAPS. Lorsque le trajet du signal et le trajet de la source brouilleuse contiennent le même segment exposé aux évanouissements dus à la pluie (tel est le cas du brouillage sur la liaison montante, par les émissions hors bande, du service d'exploration de la Terre par satellite) le brouillage n'augmente pas même s'il s'agit d'une émission à haute puissance sur la liaison montante par temps de pluie.

Lorsque le système HAPS utilise la bande de fréquences 27,5-28,35 sur la liaison descendante, la régulation RAPE au niveau de l'émetteur HAPS embarqué des faisceaux ponctuels individuels réduit le brouillage sur la liaison descendante subi par les satellites qui utilisent la même bande par temps clair, alors que la puissance brouilleuse augmente par temps de pluie. Les régions exposées à de fortes précipitations – dans lesquelles il faut des émissions à grande puissance avec régulation RAPE – et la fraction du temps pendant laquelle ces conditions doivent être remplies, devraient toutefois être très limitées et les effets sur les satellites du brouillage global de l'ensemble des faisceaux ponctuels et de toutes les stations HAPS ne devraient pas être particulièrement importants.

8 Disponibilité de la liaison

La disponibilité requise pour le service fixe varie selon que la liaison est utilisée comme une ligne exclusive ou dans le cadre d'un réseau de transmission par paquets: le premier type d'utilisation exige une disponibilité relativement élevée, ce qui n'est pas toujours le cas du second. Puisque le réseau de transmission par paquets fait normalement appel à la technique de demande de répétition automatique, les données transmises ne peuvent être perdues, même en cas d'erreur temporaire sur les bits ou de rupture de la ligne au détriment du débit. Par conséquent, si l'on considère le service sans fil de réseau de transmission par paquets utilisant des stations HAPS dans les bandes 28/31 GHz, un taux de disponibilité de 99,4% sur les liaisons montante et descendante pourrait s'avérer suffisant dans les régions tempérées, en présence d'une intensité de pluie $R_{0,01} = 50$ (mm/h). Le Tableau 3a) indique les valeurs escomptées de disponibilité de la liaison dans d'autres régions en supposant la même puissance d'émission. Dans de nombreux pays où les précipitations sont moins intenses, on obtient une disponibilité de 99,7 à 99,9%. Dans les zones tropicales, on atteint une disponibilité de 99,4% si l'on suppose une augmentation supplémentaire de la puissance d'émission de 5-14 dB (puissance d'émission maximum = 2,5 W) par temps de pluie et avec utilisation d'un dispositif de régulation RAPE. En raison de la proximité des fréquences de la liaison montante et de la liaison descendante, la disponibilité de la liaison sur le trajet aller et retour n'est sans doute pas très différente de celle observée sur la liaison montante ou descendante.

Les abonnés qui ont besoin d'une disponibilité de liaison plus élevée sur la liaison montante de la station HAPS pourraient également mettre en place un dispositif de régulation RAPE supplémentaire au niveau de la station au sol. L'augmentation de la puissance d'émission jusqu'à 12,2 dB (puissance d'émission = 1,5 W) par temps de pluie permet d'atteindre une disponibilité de liaison de 99,8% en un point géographique de la zone considérée caractérisé par une intensité de pluie de $R_{0,01} = 50$ (mm/h) (Tableau 3b)).

La disponibilité de la liaison sur la liaison descendante de la station HAPS pourrait également être augmentée par l'installation d'un dispositif RAPE supplémentaire sur la liaison descendante pour chaque faisceau ponctuel. En un point de la zone considérée où l'intensité de la pluie est de $R_{0,01} = 50$ (mm/h), une augmentation de la puissance d'émission pouvant atteindre 10,2 dB par temps de pluie permet d'obtenir une disponibilité de liaison de 99,8%, tandis qu'un accroissement de puissance d'émission de 17,5 dB donne une disponibilité de liaison de 99,9%. Telles qu'elles sont indiquées au § 7, les zones de forte pluviométrie où la puissance d'émission doit être renforcée par le dispositif RAPE et la fraction du temps correspondant aux besoins de ce type devraient en réalité être très limitées et l'effet du brouillage global de tous les faisceaux ponctuels et de toutes les stations HAPS sur les satellites ne devrait pas être aussi important.

Une régulation du débit d'émission et des systèmes de modulation adaptative permettraient également de compenser la dégradation de la disponibilité de la liaison imputable à l'affaiblissement dû à la pluie et/ou accroître la disponibilité. Le Tableau 3c) donne un exemple des effets de la régulation du débit d'émission en termes d'accroissement de la disponibilité dans le cas de l'agglomération de Tokyo.

TABLEAU 3

**a) Disponibilité de la liaison dans différentes zones
(angle d'élévation = 20°)**

Exemple d'agglomération		Oulan-Bator	Londres	Paris	Washington, D.C.	Tokyo
Intensité de pluie (mm/h) $R_{0,01}$		14	24	27	50	50
Latitude (degrés)		47,5 N	51,3 N	48,5 N	38,5 N	35,5 N
Disponibilité de la liaison (%)	Liaison montante (31 GHz)	99,95	99,9	99,87	99,6	99,4
	Liaison descendante (28 GHz)	99,95	99,9	99,87	99,6	99,4

b) Intervalle de régulation requise RAPE sur la liaison montante et puissance d'émission nécessaires à l'augmentation de la disponibilité de la liaison (Tokyo, intensité de pluie = 50 mm/h)

Disponibilité de la liaison montante (%)		99,4	99,6	99,8	99,9
Marge de régulation RAPE (dB)/ puissance d'émission maximum TX (W)	Angle d'élévation: 20°	0/0,093	+4,3/0,25	+12,2/1,5	+20,8/11,2
	Angle d'élévation: 90°	0/0,093	+2,2/0,16	+6,8/0,45	+13/1,9

c) Effet de la régulation du débit de données sur la liaison montante afin d'augmenter la disponibilité de la liaison (Tokyo, intensité de pluie = 50 mm/h)

Disponibilité de la liaison montante (%)		99,4	99,5	99,6	99,7
Débit de données de la liaison montante (Mbit/s)	Angle d'élévation: 20°	20	12,9	7,4	3,5
	Angle d'élévation: 90°	20	16,2	12	8,1

9 Brouillages

La valeur nominale du rapport I/N est égale à 10%, y compris le brouillage composite des services primaires. Il est possible de maximiser cette valeur nominale afin d'optimiser la protection contre le brouillage des autres services.

10 Limite supérieure du nombre de porteuses de transmission simultanées

La largeur de bande attribuée à la liaison montante HAPS dans la bande des 31 GHz est de 300 MHz (l'utilisation de la moitié supérieure de 150 MHz est interdite jusqu'à la tenue de la CMR-03). La limite supérieure du nombre de porteuses de transmission simultanées sur la liaison montante est donc égale à 15 en supposant 20 MHz de largeur de bande par porteuse. Avec un facteur de réutilisation des fréquences égal à 4, le nombre maximum de porteuses émettrices simultanées de la station au sol HAPS est de 15 pour quatre faisceaux ponctuels. L'étude de partage des fréquences sur la liaison montante doit tenir compte de cette limite supérieure.

Dans le cas d'un système réel, les demandes d'accès provenant d'un grand nombre d'abonnés seront traitées par les systèmes de commande d'accès mis en place à l'intérieur du répéteur embarqué, afin d'affecter les ressources disponibles en respectant le nombre limite de porteuses de transmission simultanées de la liaison montante.

Il faudra envisager à l'avenir de mélanger les signaux de différentes largeurs de bande, car les applications multimédias exigeront vraisemblablement des débits binaires différents. La limite supérieure du nombre de porteuses de transmission simultanées pourrait être alors modifiée. Il y a lieu cependant de tenir compte du fait que les signaux de largeur de bande plus faible peuvent être émis avec une puissance réduite et des émissions hors bande moins importantes.

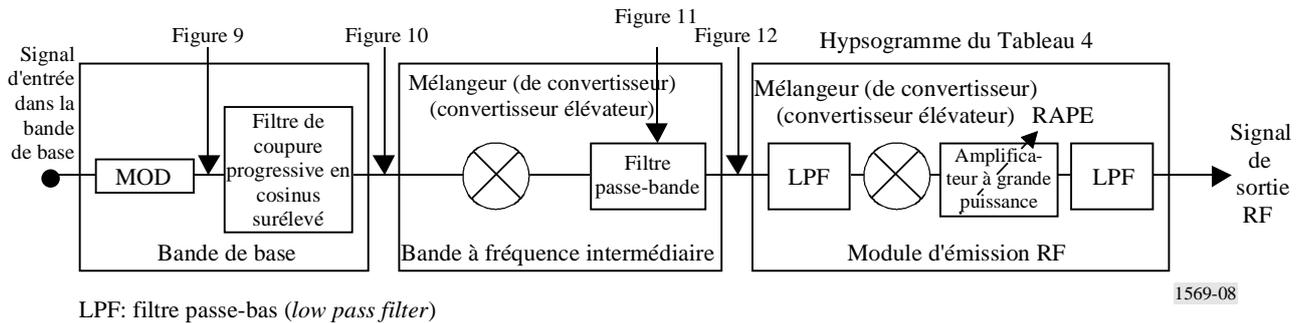
Pour éviter une émission préjudiciable de bruit hors bande sur la liaison montante en l'absence de signal, l'émetteur de la station au sol HAPS devra être muni d'un dispositif permettant de réduire le gain de l'amplificateur à grande puissance lorsqu'il n'y a pas d'émission de signal. Ce mécanisme contribue en outre à économiser l'énergie nécessaire au fonctionnement de la station au sol HAPS.

11 Emission hors bande sur la liaison montante d'une HAPS utilisant la bande des 31 GHz

L'exploitation d'une station au sol HAPS utilisant la bande 31-31,3 GHz sur la liaison montante doit éviter de brouiller les services scientifiques attribués à la bande voisine 31,3-31,8 GHz par des émissions brouilleuses hors bande. Les émissions hors bande d'un émetteur de station au sol HAPS dépendent du niveau de coupure du filtre passe-bande des fréquences intermédiaires aux fréquences voisines de la limite de la bande du signal HAPS et de la puissance de sortie du module émetteur RF (y compris l'amplificateur à grande puissance) aux fréquences situées de part et d'autre de la limite de la bande de fréquences du signal HAPS. La Fig. 8 représente une configuration type d'un émetteur pour station au sol HAPS.

FIGURE 8

Configuration type d'un émetteur pour station au sol HAPS



11.1 Courbe de réponse du filtre passe-bande à fréquence intermédiaire

La puissance d'émission hors bande à l'entrée du module RF doit être fixée au niveau du bruit thermique au moyen de filtres passe-bande adéquats à fréquence intermédiaire.

Les Fig. 9 à 11 donnent un exemple de filtrage à fréquence intermédiaire d'un signal en modulation par quadrature de phase (MDP-4). La Fig. 9 représente le spectre de puissance d'un signal MDP-4 d'origine avec un débit binaire de 20 Mbit/s. La Fig. 10 représente le spectre du signal MDP-4 après filtrage de coupure progressive en cosinus surélevé (coefficient de coupure = 0,5). Le filtre passe-bande associé à la courbe de réponse reproduite à la Fig. 11, est un filtre de Tchebychev d'ordre 6 dont la largeur de bande (−3 dB) est de 20,2 MHz à la fréquence intermédiaire centrale (1,8 GHz). La Fig. 12 indique le spectre du signal MDP-4 après filtrage passe-bande. Tel qu'indiqué à la Fig. 12, l'émission hors bande est affaiblie au-dessous de −143,83 dB(W/MHz), ce qui correspond au bruit thermique à la température de 300 K, dans la bande de fréquences de plus de 20,1 MHz de large de part et d'autre de la fréquence centrale (1,8 GHz).

$$B_G = \left| f_{pmt} \right| - \frac{B_{IF}}{2} \quad \text{MHz} \quad (3)$$

avec:

f_{pmt} : fréquence à laquelle le niveau d'émission hors bande est réduit au niveau admissible (par rapport à la fréquence centrale du signal) (MHz)

B_{IF} : largeur de bande du filtre à fréquence intermédiaire (−3 dB) (MHz).

Le spectre type d'un signal d'émission à la fréquence intermédiaire de la station au sol HAPS est indiqué ci-après.

FIGURE 9

Spectre de puissance du signal MDP-4 d'origine avant filtrage

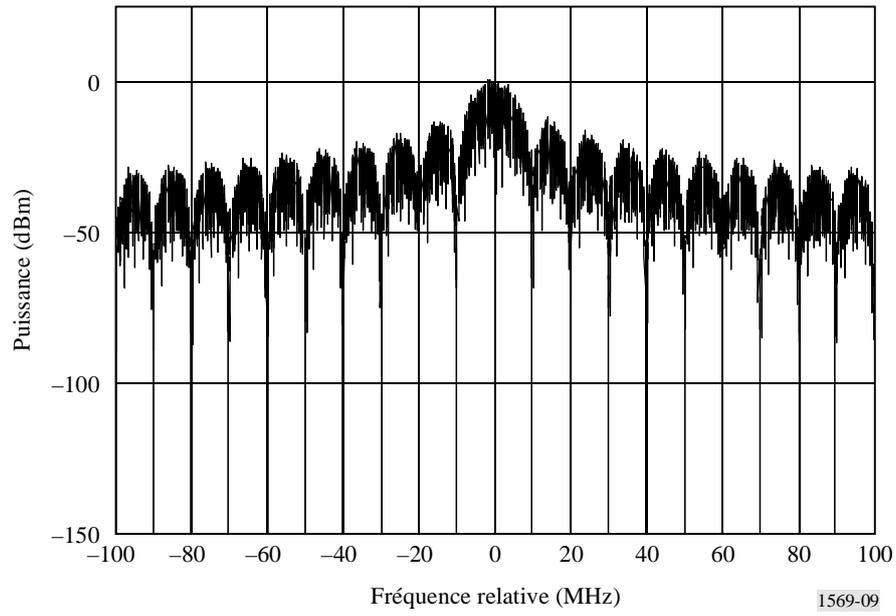


FIGURE 10

Spectre de puissance du signal MDP-4 après filtrage de coupure progressive en cosinus surélevé (facteur de coupure = 0,5)

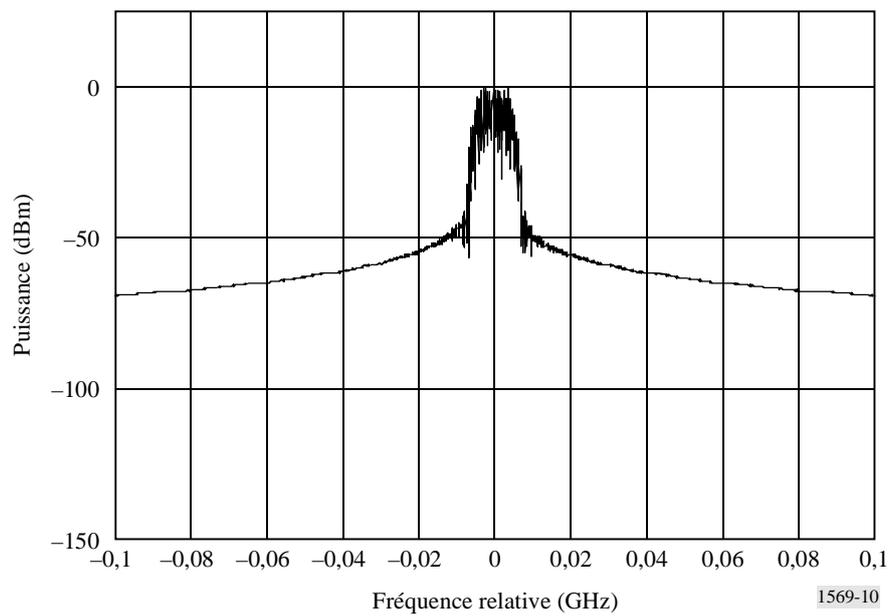
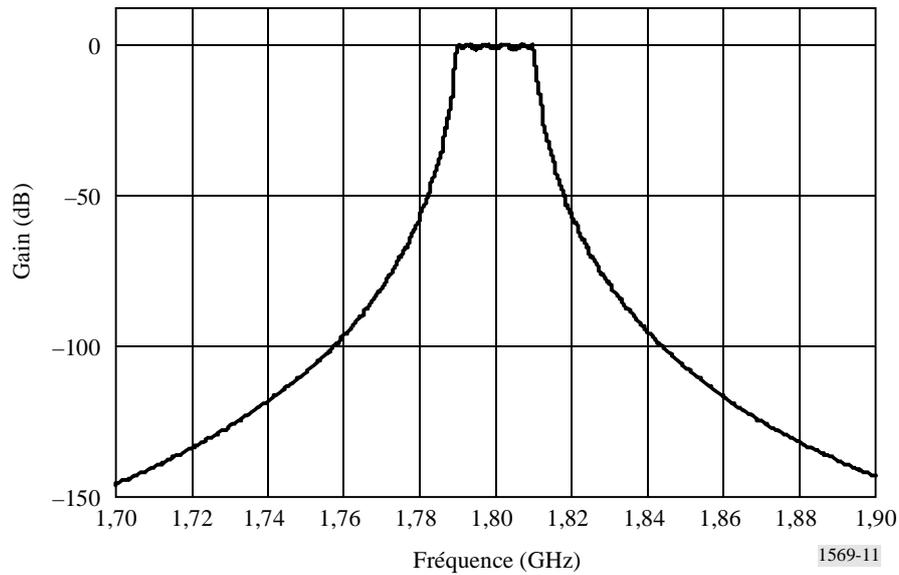


FIGURE 11

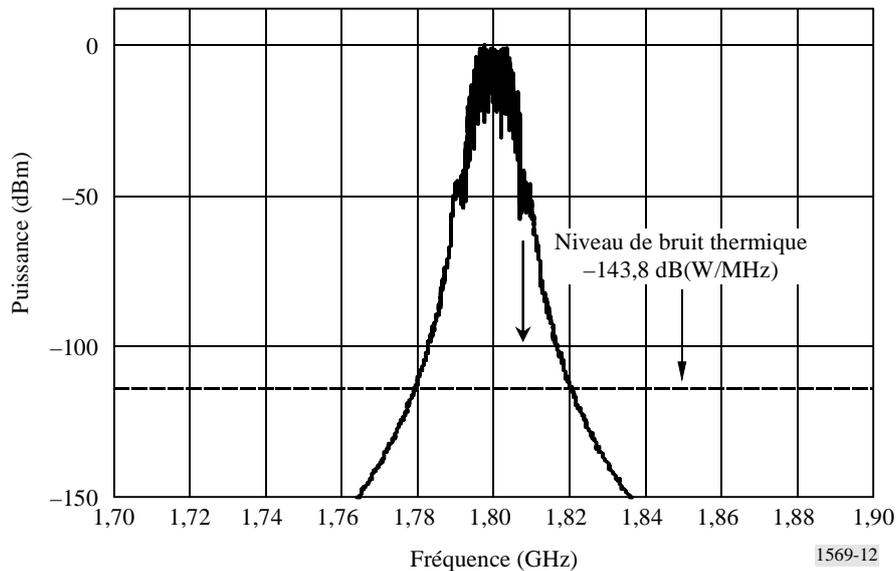
Exemple de niveau de coupure d'un filtre passe-bande de type Tchebychev ($n = 6$)



En supposant que l'émission hors bande du signal de sortie à la fréquence intermédiaire doit être réduite au niveau du bruit thermique de façon à ramener l'émission hors bande du signal RF de sortie au-dessous du niveau admissible et en supposant que le module RF suivant utilise des mélangeurs et des amplificateurs linéaires parfaits, le filtrage type illustré à la Fig. 11 permet d'obtenir la bande de garde requise de 10 MHz ($= 20,1-20,2/2$) entre 31,29 GHz et 31,3 GHz. La bande de garde requise pourrait être élargie en cas d'utilisation de dispositifs RF non linéaires. Elle pourrait également être fixée en fonction de la largeur de bande du signal émetteur attribuée au voisinage de 31,3 GHz.

FIGURE 12

Spectre de puissance du signal MDP-4 après filtrage passe-bande de type Tchebychev ($n = 6$) à la sortie à fréquence intermédiaire (puissance de sortie $-29,82$ dBW dans l'intervalle de 20,2 MHz)



11.2 Puissance de bruit à la sortie du module RF émetteur

La puissance d'émission hors bande du module RF émetteur à 30 GHz est fonction essentiellement du gain de l'amplificateur à grande puissance, à condition que le bruit hors bande d'entrée aux fréquences intermédiaires soit égal au niveau de bruit thermique.

Le Tableau 4 présente un hypsogramme type de module RF de station au sol HAPS. Ce module est constitué d'un convertisseur élévateur pour passer de la fréquence intermédiaire (1,8 GHz) à la fréquence radioélectrique (31 GHz), et d'un amplificateur à grande puissance à gain maximum de 42 dB (niveau de bruit = 6 dB). La puissance maximale du signal de sortie dans la bande fournie par le module est de $-10,3$ dBW, ce qui correspond à la puissance requise de porteuse par temps de pluie (voir également le bilan de liaison type indiqué dans l'Appendice 1). La RAPE est obtenue au moyen d'un amplificateur à grande puissance à gain variable, qui contient un atténuateur variable.

La relation ci-dessous permet de calculer la puissance d'émission hors bande du module RF:

$$P_{ob-out} = P_{ob-in} + G_{HPA} + NF_{HPA} - L_{LPF} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (4)$$

avec:

P_{ob-out} : puissance d'émission hors bande du module RF (dB(W/MHz))

P_{ob-in} : puissance hors bande à l'entrée du module RF (dB(W/MHz))

G_{HPA} : gain de l'amplificateur à grande puissance (dB)

NF_{HPA} : niveau de bruit dans l'amplificateur à grande puissance (dB)

L_{LPF} : affaiblissement dans le LPF installé à la sortie de l'amplificateur à grande puissance (dB).

D'après le Tableau 4, la puissance d'entrée hors bande P_{ob-in} ($= -143,83$ dB(W/MHz)) est supposée égale à la puissance de bruit thermique à 300 K. Les calculs effectués démontrent la possibilité d'atteindre la puissance d'émission hors bande maximum de $-99,85$ dB(W/MHz) à la sortie du module par temps de pluie. Le dispositif de régulation RAPE contribue à limiter les émissions hors

bande en diminuant le gain de l'amplificateur à grande puissance par temps clair. Le Tableau 4 suppose l'utilisation d'un dispositif RAPE comportant une marge de 6 dB (valeur type). L'émission hors bande est donc réduite à $-105,85$ dB(W/MHz) par temps clair. La linéarité des dispositifs RF (amplificateurs et mélangeurs), ainsi que le choix des valeurs de l'hypsogramme contribuent de façon décisive à l'obtention d'une faible puissance d'émission hors bande. Le gain de l'amplificateur à grande puissance ne doit pas être excessif et le niveau de bruit doit être faible.

TABLEAU 4

Hypsogramme nominal du module d'émission RF dans la bande des 30 GHz

	Signal d'entrée	LPF	Mélangeur, etc.	Amplificateur à grande puissance	LPF, etc.	Signal de sortie
Gain (dB)		-1,2	-17,25	42 (36) ⁽¹⁾	-4,02	
Niveau de bruit (dB)		1,2	17,25	6	4,02	
Puissance du signal (dBW)	-29,83	-31,03	-48,28	-6,28 (-12,28) ⁽¹⁾	-10,3 (-16,3) ⁽¹⁾	-10,3 (-16,3) ⁽¹⁾
Bruit hors bande (dB(W/MHz))	-143,83	-143,83	-143,83	-95,83 (-101,83) ⁽¹⁾	-99,85 (-105,85) ⁽¹⁾	-99,85 (-105,85) ⁽¹⁾
Fréquence centrale (GHz)	1,8	1,8	31,28	31,28	31,28	31,28

(1) Valeurs nominales par temps clair.

12 Résumé

Le service fixe utilisant des stations placées sur des HAPS dans les bandes 31-31,3 GHz pour la liaison montante et 27,5-28,35 GHz pour la liaison descendante peut comporter les valeurs types suivantes des caractéristiques opérationnelles:

- l'altitude de la plate-forme HAPS peut être comprise entre 20 et 25 km;
- la valeur minimum de l'angle d'élévation opérationnel peut dépasser 20°, bien que le fonctionnement avec un angle d'élévation plus petit soit également envisageable, dans certains conditions d'exploitation;
- l'antenne embarquée peut créer des faisceaux ponctuels multiples dont le facteur de réutilisation des fréquences est égale ou supérieur à quatre dans les zones desservies respectives et peut être conçue afin de limiter le brouillage sur le trajet à petit angle d'élévation;
- le matériau de l'enveloppe du dirigeable a un effet d'écran sur le rayonnement vers l'arrière;
- la station au sol de la plate-forme HAPS peut être équipée d'un dispositif RAPE afin de limiter le brouillage d'autres services utilisant la même bande de fréquences ou la bande voisine et afin d'améliorer la disponibilité de la liaison sans aggraver le brouillage des autres services;
- la disponibilité de la liaison peut atteindre 99,4% ou davantage en ce qui concerne les réseaux de transmission par paquets dans la zone climatique M;

- la valeur nominale du rapport I/N du système HAPS est égale à 10%;
- le nombre de signaux émetteurs simultanés ne dépasse pas une limite supérieure déterminée par la largeur de bande totale dont l'utilisation est autorisée et par la largeur de bande de chaque signal;
- le niveau d'émission hors bande dans la bande 31,3-31,8 GHz de l'émetteur de la liaison montante peut être inférieur à -105 dB(W/MHz) par temps clair et inférieur à -100 dB (W/MHz) par temps de pluie, ces valeurs étant fonction du choix des dispositifs en fréquence intermédiaire et RF et des valeurs nominales de puissance de l'émetteur de la liaison montante; et
- la définition d'une bande de garde de 31,26-31,3 GHz est parfois indispensable sur la liaison montante de la plate-forme HAPS en supposant la linéarité des mélangeurs et des amplificateurs de l'émetteur RF de la station au sol HAPS, bien que l'utilisation d'une bande de garde plus large puisse être requise en présence de dispositifs RF non linéaires et selon la largeur de bande du signal émetteur attribuée au voisinage de 31,3 GHz.

Les caractéristiques techniques et opérationnelles du système HAPS présentées dans cette Annexe constituent un exemple type à prendre en compte dans les futures études de partage et donnent des indications pour la mise au point des systèmes HAPS utilisant les bandes 28/31 GHz.

Appendice 1
à l'Annexe 1

Bilans de liaison types d'un système HAPS utilisant les bandes 28/31 GHz

TABLEAU 5

Bilan de liaison type pour une plate-forme HAPS placée à l'altitude de 20 km

a) Temps clair

	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Angle d'élévation (degrés)	20		90	
Fréquence (GHz)	31,28	28	31,28	28
Largeur de bande (MHz)	20	20	20	20
Antenne émettrice:				
– puissance de sortie (dBW)	-16,3	-14,5	-16,3	-15,2
– perte de la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– gain (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	18,2	14,5	18,2	0,7
– p.i.r.e. (par MHz) (dB(W/MHz))	5,2	1,5	5,2	-12,3
Longueur de trajet (km)	58,5	58,5	20	20
Affaiblissement sur le trajet en espace libre (dB)	157,7	156,7	148,4	147,4
Affaiblissement dû à la pluie (dB)	0	0	0	0
Disponibilité dans la zone M (%)	100	100	100	100
Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques (dB)	0,4	0,4	0	0
Puissance surfacique (dB(W/m ² · MHz))	–	-105,2	–	-109,3
Antenne réceptrice:				
– gain (dBi)	29,5	35	16,5	35
– perte dans la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– puissance reçue (dBW)	-110,9	-108,1	-114,2	-112,2
– température de bruit (K)	700	500	700	500
– température de bruit (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objectif nominal de puissance de brouillage (dB(W/MHz)) (I/N = 10%)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pertes techniques du récepteur (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
Rapport C/N ₀ disponible (dB(Hz))	86,3	90,6	83	86,5
Débit de données usager (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Débit de données usager (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
Valeur requise E _b /N ₀ (dB) (MDP-4, TEB = 1 × 10 ⁻⁶)	10,5	10,5	10,5	10,5
Gain de codage (dB) (Codage Viterbi, K = 7, r = 2/3)	5	5	5	5
Valeur E _b /N ₀ (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
Valeur C/N ₀ (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Marge de liaison (dB)	9,6	13,9	6,3	9,8

TABLEAU 5 (fin)

b) Temps de pluie (utilisation d'un dispositif RAPE sur la liaison montante)

	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Angle d'élévation (degrés)	20		90	
Fréquence (GHz)	31,28	28	31,28	28
Largeur de bande (MHz)	20	20	20	20
Antenne émettrice:				
– puissance de sortie (dBW)	-10,3	-14,5	-10,3	-15,2
– perte de la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– gain (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	24,2	14,5	24,2	0,7
– p.i.r.e. (par MHz) (dB(W/MHz))	11,2	1,5	11,2	-12,3
Longueur de trajet (km)	58,5	58,5	20	20
Affaiblissement sur le trajet en espace libre (dB)	157,7	156,7	148,4	147,4
Affaiblissement dû à la pluie (dB)	12,2	10,1	8,05	6,43
Disponibilité dans la zone M (%)	99,4	99,4	99,4	99,4
Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques (dB)	0,4	0,4	0	0
Puissance surfacique (dB(W/m ² · MHz))	–	-105,2	–	-109,3
Antenne réceptrice:				
– gain (dBi)	29,5	35	16,5	35
– perte dans la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– puissance reçue (dBW)	-117,1	-118,2	-116,3	-118,6
– température de bruit (K)	700	500	700	500
– température de bruit (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objectif nominal de puissance de brouillage (dB(W/MHz)) ($I/N = 10\%$)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pertes techniques du récepteur (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
Rapport C/N_0 disponible (dB(Hz))	80,1	80,5	80,9	80,1
Débit de données usager (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Débit de données usager (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
Valeur requise E_b/N_0 (dB) (MDP-4, $TEB = 1 \times 10^{-6}$)	10,5	10,5	10,5	10,5
Gain de codage (dB) (Codage Viterbi, $K = 7$, $r = 2/3$)	5	5	5	5
Valeur E_b/N_0 (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
Valeur C/N_0 (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Marge de liaison (dB)	3,4	3,8	4,2	3,4

TEB: taux d'erreur binaire

TABLEAU 6

Bilan de liaison type pour une station HAPS placée à une altitude de 25 km

a) Temps clair

	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Angle d'élévation (degrés)	20		90	
Fréquence (GHz)	31,28	28	31,28	28
Largeur de bande (MHz)	20	20	20	20
Antenne émettrice:				
– puissance de sortie (dBW)	-16,3	-14,5	-16,3	-15,2
– perte de la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– gain (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	18,2	14,5	18,2	0,7
– p.i.r.e. (par MHz) (dB(W/MHz))	5,2	1,5	5,2	-12,3
Longueur de trajet (km)	73,1	73,1	25	25
Affaiblissement sur le trajet en espace libre (dB)	159,6	158,7	150,3	149,3
Affaiblissement dû à la pluie (dB)	0	0	0	0
Disponibilité dans la zone M (%)	100	100	100	100
Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques (dB)	0,4	0,4	0	0
Puissance surfacique (dB(W/m ² · MHz))	–	-107,2	–	-111,3
Antenne réceptrice:				
– gain (dBi)	29,5	35	16,5	35
– perte dans la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– puissance reçue (dBW)	-112,8	-110,1	-116,1	-114,1
– température de bruit (K)	700	500	700	500
– température de bruit (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objectif nominal de puissance de brouillage (dB(W/MHz)) ($I/N = 10\%$)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pertes techniques du récepteur (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
Rapport C/N_0 disponible (dB(Hz))	84,4	88,6	81,1	84,6
Débit de données usager (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Débit de données usager (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
Valeur requise E_b/N_0 (dB) (MDP-4, $TEB = 1 \times 10^{-6}$)	10,5	10,5	10,5	10,5
Gain de codage (dB) (Codage Viterbi, $K = 7$, $r = 2/3$)	5	5	5	5
Valeur E_b/N_0 (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
Valeur C/N_0 (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Marge de liaison (dB)	7,7	11,9	4,4	7,9

TABLEAU 6 (fin)

b) Temps de pluie (utilisation d'un dispositif RAPE sur la liaison montante)

	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Angle d'élévation (degrés)	20		90	
Fréquence (GHz)	31,28	28	31,28	28
Largeur de bande (MHz)	20	20	20	20
Antenne émettrice:				
– puissance de sortie (dBW)	-10,3	-14,5	-10,3	-15,2
– perte de la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– gain (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	24,2	14,5	24,2	0,7
– p.i.r.e. (par MHz) (dB(W/MHz))	11,2	1,5	11,2	-12,3
Longueur de trajet (km)	73,1	73,1	25	25
Affaiblissement sur le trajet en espace libre (dB)	159,6	158,7	150,3	149,3
Affaiblissement dû à la pluie (dB)	12,2	10,1	8,1	6,4
Disponibilité dans la zone M (%)	99,4	99,4	99,4	99,4
Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques (dB)	0,4	0,4	0	0
Puissance surfacique (dB(W/m ² · MHz))	–	-107,2	–	-111,3
Antenne réceptrice:				
– gain (dBi)	29,5	35	16,5	35
– perte dans la ligne d'alimentation (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– puissance reçue (dBW)	-119	120,2	-118,2	-120,5
– température de bruit (K)	700	500	700	500
– température de bruit (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objectif nominal de puissance de brouillage (dB(W/MHz)) ($I/N = 10\%$)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pertes techniques du récepteur (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
Rapport C/N_0 disponible (dB(Hz))	78,2	78,5	79	78,2
Débit de données usager (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Débit de données usager (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
Valeur requise E_b/N_0 (dB) (MDP-4, $TEB = 1 \times 10^{-6}$)	10,5	10,5	10,5	10,5
Gain de codage (dB) (Codage Viterbi, $K = 7$, $r = 2/3$)	5	5	5	5
Valeur E_b/N_0 (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
Valeur C/N_0 (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Marge de liaison (dB)	1,5	1,8	2,3	1,5

Appendice 2 à l'Annexe 1

Mesures des émissions brouilleuses de l'émetteur dans la bande des 31 GHz

1 Introduction

Le présent Appendice rend compte des travaux de mise au point d'un module RF exploité dans la bande des 31 GHz à utiliser pour une station au sol de plate-forme HAPS dotée d'un filtre passe-bande à coupure brusque. Il ressort des mesures effectuées que les caractéristiques présumées du filtre sont obtenues et que les conclusions des études présentées au § 11 de l'Annexe 1 peuvent être considérées comme généralement réalistes. Du fait que le module RF est constitué d'éléments disponibles sur le marché, il devrait pouvoir être fabriqué à un coût raisonnable.

2 Configuration de l'émetteur

Le Tableau 7 présente la configuration du module RF mis au point et l'hypsogramme correspondant à chaque port. Trois différents types d'amplificateurs à circuit intégré monolithique hyperfréquence sont utilisés pour obtenir la puissance de sortie du signal dans la bande (environ -10 dBW) de façon à observer le bilan de liaison spécifié au Tableau 5 et au Tableau 6.

3 Mesures obtenues

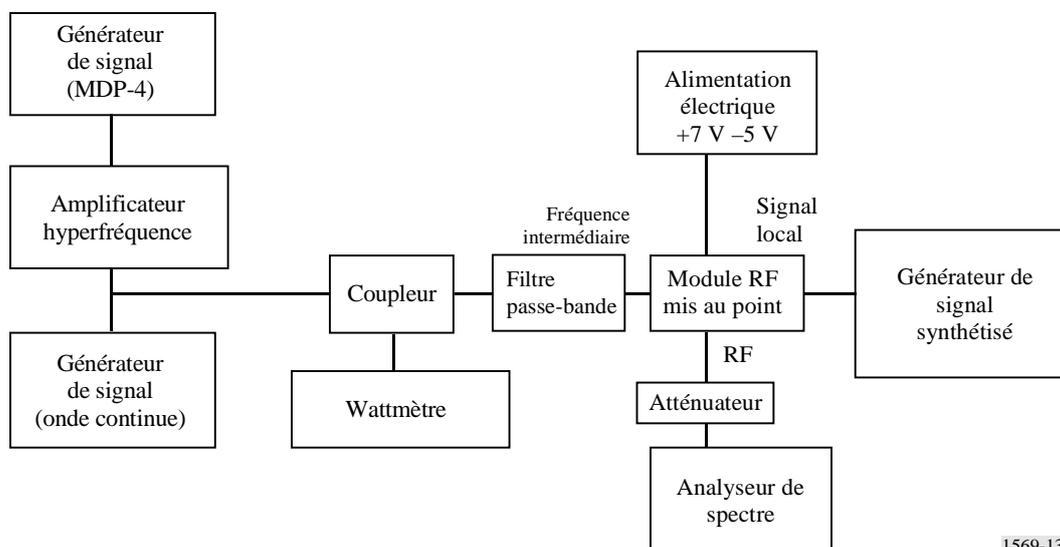
3.1 Système de mesure

La Fig. 13 représente un dispositif de mesure du niveau des émissions brouilleuses du module d'émission RF mis au point. Suivant cette configuration, l'atténuateur installé entre l'analyseur de spectre et le module RF mis au point peut être réglé par échelons de 2 dB (de 0 dB à 6 dB) de façon à simuler le fonctionnement du régulateur RAPE qui doit équiper la station au sol HAPS.

La Fig. 14 représente, en fonction de la fréquence, la puissance de bruit thermique de l'analyseur de spectre proprement dit dans la bande de fréquences centrée sur 31,15 GHz (en l'absence de signal d'entrée). Tel qu'il apparaît, le niveau de puissance de l'analyseur proprement dit est de $-80,3$ dBm/MHz ($= -110,3$ dB(W/MHz)) dans la bande de fréquences au-dessous de 31,15 GHz et de $-74,5$ dBm/MHz ($= -104,5$ dB(W/MHz) $= 3,548 \times 10^{-11}$ W/MHz) dans la bande de fréquences au-dessus de 31,15 GHz.

FIGURE 13

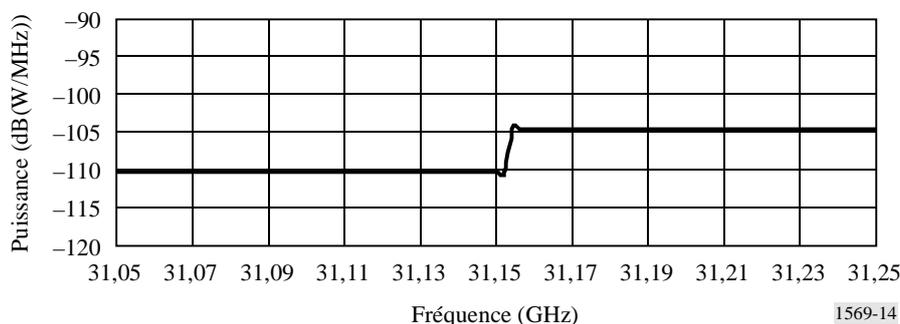
Installation de mesure du niveau des émissions brouilleuses du module RF mis au point



1569-13

FIGURE 14

Réponse en fréquence de la puissance de bruit thermique de l'analyseur de spectre



1569-14

3.2 Mesures des émissions brouilleuses

La Fig. 15 représente le spectre de mesures du signal MDP-4 dans la bande de fréquences intermédiaire, avec une largeur de bande de 20 MHz à la sortie d'un filtre de coupure en cosinus (facteur de coupure = 0,5) et d'un filtre passe-bande de type Tchebychev. Sur ce schéma, la fréquence centrale (point 0 de l'axe horizontal) correspond à 1,8 GHz. Le signal est appliqué à l'entrée du module RF mis au point à un niveau de $-27,8$ dBW. Les Fig. 15 et 16 représentent le spectre du signal obtenu à la sortie du module RF émetteur mis au point, avec et sans dispositif RAPE (la puissance augmente de 6 dB). Sur ces schémas, la fréquence centrale (point 0 de l'axe horizontal) correspond à 31,15 GHz et les courbes représentées présentent les résultats après élimination du niveau de bruit de l'analyseur de spectre tiré de la Fig. 14 d'après les mesures effectuées. La Fig. 17 met en évidence le fait que les émissions brouilleuses sont inférieures à -76 dBm/MHz ($= -106$ dB(W/MHz)) dans la région de fréquence éloignée de plus de 40 MHz de la fréquence centrale de telle sorte que la largeur de bande requise pour le signal modulé de 20 MHz est d'environ 40 MHz autour de la fréquence centrale. Lorsque le dispositif RAPE est mis en oeuvre (ou lorsque la puissance augmente de 6 dB), le niveau des émissions brouilleuses peut être réduit à

une valeur inférieure à -70 dBm/MHz ($= -100$ dB(W/MHz)) dans la zone de fréquence éloignée de 40 MHz de la fréquence centrale. La Fig. 18 représente la courbe entrée-sortie du module RF mis au point. On peut y observer que le signal de sortie atteint 20 dBm, c'est-à-dire le niveau requis pour la liaison montante de la station HAPS, dans la partie linéaire de la courbe du module RF.

FIGURE 15

Spectre mesuré du signal MDP-4 dans la bande de fréquence intermédiaire après filtrage passe-bande

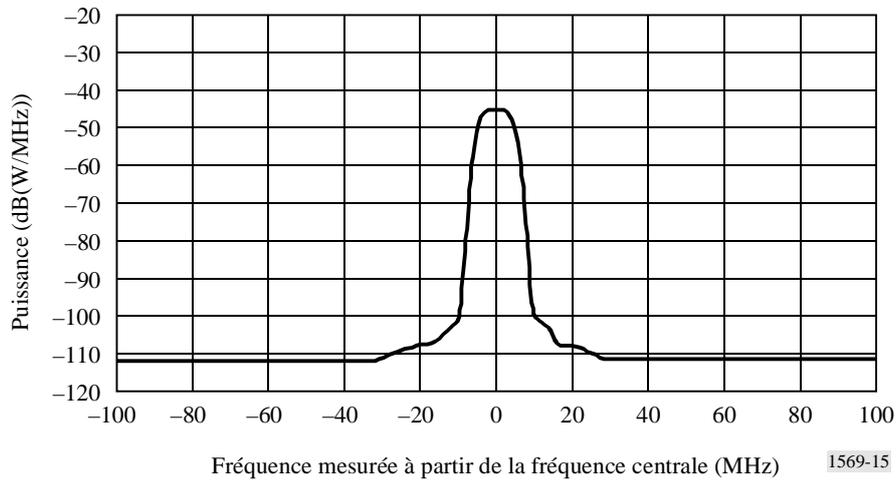


FIGURE 16

Spectre mesuré du signal de sortie du module RF dans la bande des 31 GHz

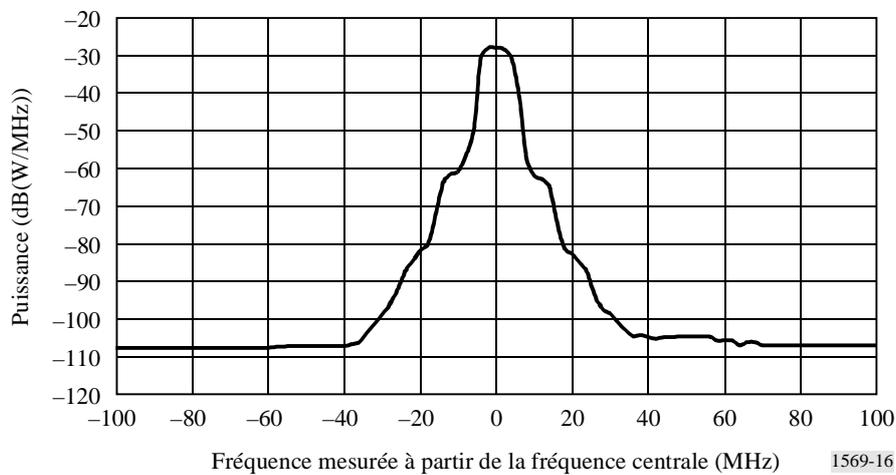


FIGURE 17

Spectre mesuré du signal de sortie du module RF dans la bande des 31 GHz en cas d'utilisation d'un dispositif de régulation automatique augmentant la puissance de 6 dB

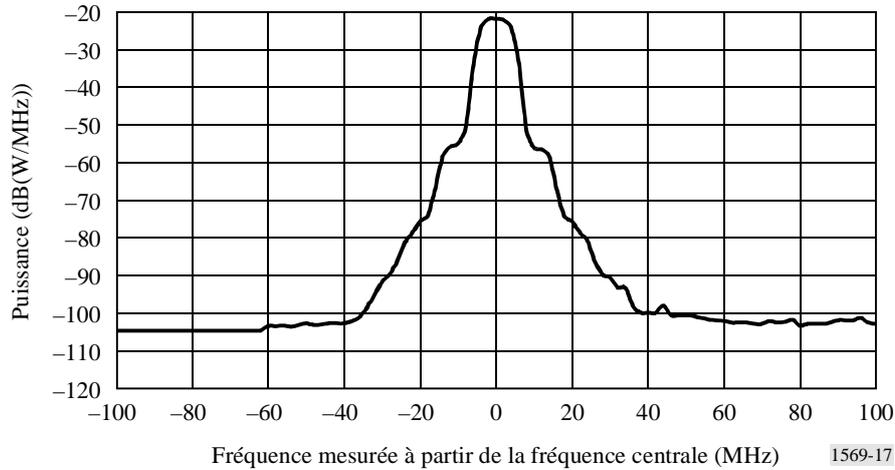
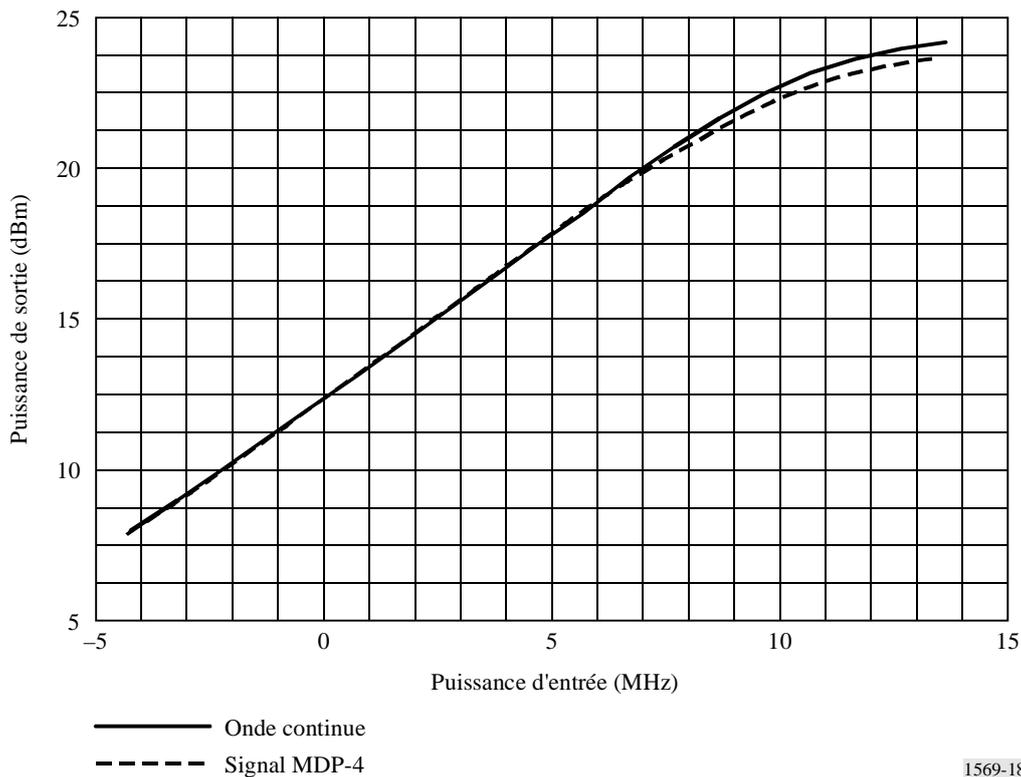


FIGURE 18

Caractéristiques entrée-sortie du module RF mis au point



4 Résumé

Cet Appendice a présenté les résultats des mesures concernant les émissions brouilleuses du module émetteur RF exploité dans la bande des 31 GHz, mis au point afin d'équiper les stations au sol des systèmes sur HAPS. Il a été établi qu'une puissance d'émission brouilleuse de -106 dB(W/MHz) par temps clair et de -100 dB(W/MHz) par temps de pluie était atteinte pour un signal à 20 MHz de largeur de bande, avec une bande de garde d'environ 40 MHz à partir de la fréquence centrale, grâce à un ajustement approprié de l'hypsogramme au moyen de dispositifs d'usage courant installés dans

le module émetteur RF. Avec une largeur de bande de signal plus étroite, la bande de garde requise pour atteindre le niveau voulu d'émission brouilleuse sera inférieure à 40 MHz autour de la fréquence centrale.

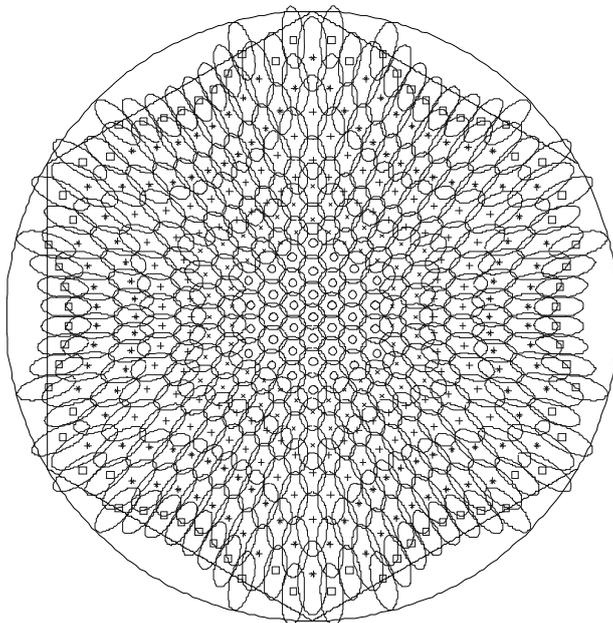
Appendice 3 à l'Annexe 1

Autre option de configuration cellulaire

Les études de l'UIT-R ont utilisé une configuration de cellules représentée à la Fig. 3 de l'Annexe 1 et comportant des cercles de taille identique, illuminés par des faisceaux elliptiques. Cet Appendice présente une autre configuration, selon laquelle les cellules sont illuminées par des faisceaux circulaires. La Fig. 19 donne un exemple d'une variante de ce type, dans laquelle les cercles sont illuminés par 397 faisceaux circulaires caractérisés par cinq gains d'antenne différents. Sur ce schéma les cellules dans lesquelles le même caractère est inscrit sont illuminées par des faisceaux circulaires de gain d'antenne identique. Les gains attribués à chaque groupe sont également indiqués à la Fig. 19. Le gain d'antenne du faisceau illuminant la zone la plus éloignée de la périphérie est de 22,4 dBi et le gain correspondant à la zone la plus extérieure est de 31,7 dBi. La puissance d'émission de chaque faisceau est déterminée de sorte que la puissance surfacique réalisée au sol par tous les faisceaux puisse être identique. La Fig. 20 représente la p.i.r.e. cumulée de 397 faisceaux dans plusieurs azimuts. Ce calcul utilise les indications de la Recommandation UIT-R F.1245 pour établir le diagramme de rayonnement de chaque faisceau circulaire. Il ressort de ce schéma que le brouillage d'autres systèmes dû à la liaison descendante de la station HAPS n'augmente pas, par comparaison à celui observé pour la configuration cellulaire de la Fig. 3 de l'Annexe 1.

FIGURE 19

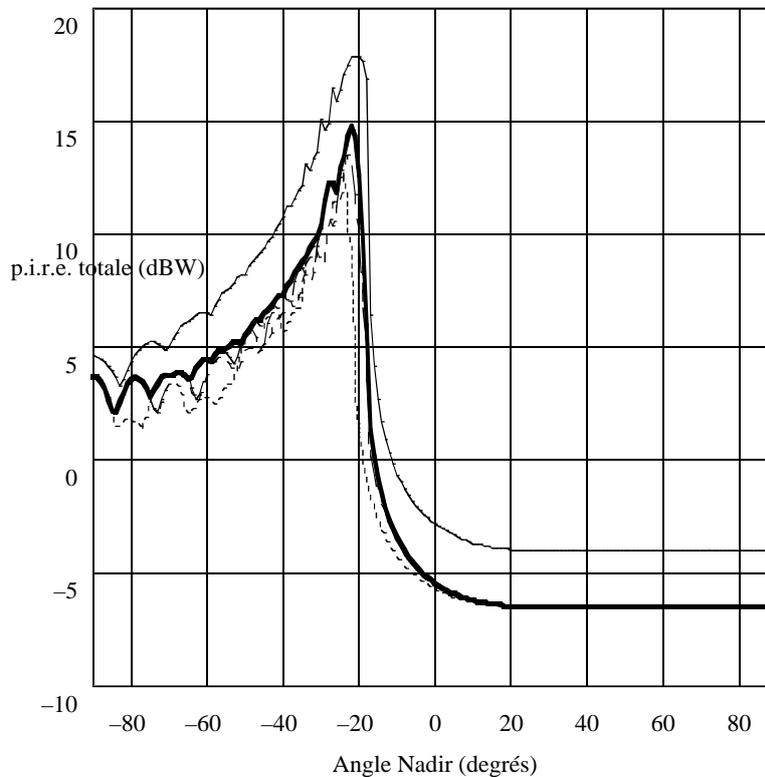
Variante de configuration de cellules illuminées par des faisceaux circulaires avec cinq gains d'antenne différents



- 22,4 dBi
- × 25,1 dBi
- + 27,1 dBi
- * 29,1 dBi
- 31,7 dBi

FIGURE 20

p.i.r.e. totale de 397 faisceaux ponctuels



- modèle applicable (azimut = 30°)
- . - . - . modèle applicable (azimut = 26°)
- modèle applicable (azimut = 0°)
- modèle applicable (valeur la plus défavorable)
- modèle classique (valeur la plus défavorable)

1569-20