

## RECOMMANDATION UIT-R S.1329\*,\*\*

**Partage de fréquences, dans les bandes 19,7-20,2 GHz  
et 29,5-30,0 GHz, entre systèmes du service mobile par satellite  
et systèmes du service fixe par satellite**

(Question UIT-R 81/4)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué au service mobile par satellite (SMS), à titre primaire, des fréquences comprises dans les bandes 19,7-20,1 GHz et 29,5-29,9 GHz dans la Région 2 et dans les bandes 20,1-20,2 GHz et 29,9-30,0 GHz dans les trois Régions;
- b) que des CAMR antérieures ont attribué ces bandes au service fixe par satellite (SFS) à titre primaire;
- c) que la CAMR-92 a adopté la Recommandation N° 719, chargeant l'UIT-R «d'étudier d'urgence les caractéristiques techniques et notamment les techniques de pointage, des réseaux à satellite multiservices\*\*\* utilisant des réseaux à satellite géostationnaire, qui recouvrent des applications du service mobile par satellite et du service fixe par satellite, ainsi que les critères de partage à appliquer pour assurer la compatibilité avec le service fixe par satellite dans les bandes de fréquences précitées»;
- d) que l'Assemblée des radiocommunications de 1993 a approuvé la Question UIT-R 81/4 à laquelle elle a donné le rang de priorité;
- e) que divers réseaux à satellites relevant exclusivement du SFS ou du SMS, ou encore de ces deux services à la fois, peuvent être acquis et exploités séparément, et qu'il se peut par ailleurs que chacun des réseaux de ces trois catégories doive partager les bandes avec des systèmes appartenant à l'une des autres catégories, ou aux deux;
- f) qu'en 1997 plus de 180 réseaux à satellites géostationnaires du SFS (SFS OSG) à 20/30 GHz font l'objet d'une coordination;
- g) que la technologie de certains réseaux du SFS OSG actuellement en projet pourrait éventuellement accepter un espacement de l'arc de 2°, les largeurs des faisceaux d'antenne sur la liaison montante étant égales ou inférieurs à 1°;
- h) que les réseaux du SMS OSG étudiés dans un premier temps exigeraient un espacement supérieur à 2° par rapport au système du SFS OSG le plus proche assurant la même couverture dans les mêmes fréquences pour bénéficier d'une nécessaire protection,

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 8 des radiocommunications.

\*\* La Commission d'études 4 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44 (AR-2000).

\*\*\* Ce terme est utilisé ici pour désigner des satellites dotés d'un équipement leur permettant d'être exploités dans plusieurs catégories de service.

*recommande*

**1** dans la planification et la mise au point des systèmes du SFS, des systèmes du SMS et des systèmes relevant de ces deux services qui seront appelés à utiliser l'OSG et à être exploités dans les bandes de fréquences précitées, de prendre en considération les informations rassemblées dans l'Annexe 1 concernant les caractéristiques techniques de ces systèmes et les critères de protection contre les brouillages qui leur sont applicables;

**2** de faire en sorte que les nouveaux réseaux du SMS et du SFS OSG planifiés dans les bandes 29,5-30,0 et 19,7-20,2 GHz tiennent compte des caractéristiques techniques du SFS exposées dans l'Annexe 2 et des caractéristiques du SMS qu'étudie actuellement la Commission d'études 8 des radiocommunications au titre de la Question UIT-R 104/8.

NOTE 1 – Les administrations sont priées de soumettre d'autres contributions sur les points traités dans les Annexes 1 et 2, notamment en ce qui concerne les paramètres des systèmes en projet et des systèmes futurs qui seront exploités dans les bandes précitées.

## ANNEXE 1

### **Partage de fréquences entre réseaux du SFS et réseaux du SMS dans les bandes des 30/20 GHz**

#### **1 Introduction**

La CAMR-92 a établi la Recommandation N° 719, sur les études à effectuer concernant les caractéristiques techniques des réseaux à satellites multiservices 30/20 GHz et les critères de partage nécessaires pour assurer la compatibilité de ces systèmes avec le SFS.

Un travail considérable a été effectué sur cette question, plusieurs administrations ayant présenté des documents de travail à l'occasion des réunions annuelles du Groupe de travail (GT). Ainsi, à la quatrième réunion du GT 4A des radiocommunications (novembre, 1993), un certain nombre de documents ont été présentés, qui recommandaient, pour faciliter le partage, d'utiliser comme technique d'accès multiple le système AMRC (accès multiple par répartition en code). Certains participants se sont opposés à une telle proposition au motif que l'utilisation de techniques AMRC s'accompagne de certains inconvénients pour l'opérateur mobile. L'un des problèmes spécifiques cités à cette occasion était, par exemple, l'incidence des systèmes de commande de puissance sur les systèmes AMRC et leur capacité. Les éléments d'information regroupés dans la présente Annexe sont extraits d'une large gamme de contributions, et l'on y trouvera une analyse détaillée de divers aspects des techniques AMRC, des systèmes de commande de puissance et d'autres paramètres applicables aux systèmes fonctionnant à 30/20 GHz.

#### **2 Principales caractéristiques des systèmes SMS actuels**

Le présent paragraphe résume certains aspects fondamentaux des techniques utilisées dans le SMS qu'il est nécessaire de considérer de près pour être en mesure d'établir une analyse fiable de l'efficacité d'utilisation des positions orbitales, ainsi que des possibilités de partage. Après avoir brièvement rappelé quelques éléments de base de la théorie des systèmes AMRC, certains aspects pratiques sont évoqués en partant des informations disponibles sur divers systèmes en projet dans les bandes 30/20 GHz. Cette analyse n'est ni intégrale, ni définitive, mais les résultats obtenus permettront de dégager des conclusions utiles.

## 2.1 Systèmes à satellites AMRC

On distingue deux catégories de systèmes AMRC, à savoir les systèmes AMRC à sauts de fréquence (SF) et les systèmes AMRC à séquence directe (SD). Pour des raisons économiques, les systèmes de la première catégorie concernent essentiellement le domaine militaire, de sorte que nous n'étudierons ici que les systèmes à séquence directe. Dans un système AMRC, les opérations d'émission et de réception sont effectuées selon deux méthodes de base (mais la ligne de démarcation entre la première et la seconde est rendue relativement floue par le fait qu'il existe également des systèmes quasi synchrones). Les deux systèmes de base sont donc les systèmes asynchrones d'une part, et les systèmes synchrones d'autre part. Avec un système AMRC asynchrone, un utilisateur peut transmettre des informations sans tenir spécialement compte de l'état de sa microséquence unique, tandis qu'avec un système synchrone, il y a émission d'un code de référence qui est reçu par toutes les stations du système. Le code de référence assure notamment la synchronisation des codes de microséquence de toutes les stations d'émission et aide les stations de réception à acquérir les codes de microséquence entrante requis. Du fait que toutes les stations d'émission sont synchronisées, les produits de corrélation croisée des codes sont maintenus au minimum (plus spécialement lorsque l'on utilise des codes de corrélation croisée d'ordre peu élevé, par exemple des codes de Gold), si bien que le bruit induit du système est minimisé – ce qui implique que la capacité du système est maximisée. Toutefois, dans un système synchrone, le verrouillage initial sur le code requis est rendu plus difficile par la réduction du rapport signal/bruit due à l'absence de synchronisation.

### 2.1.1 Nombre maximal théorique d'accès

Considérons un système AMRC-SD avec  $m$  porteuses reçues de même puissance  $C$ . La puissance utile de la porteuse à l'entrée du récepteur est donc  $C$  et, si l'on appelle  $E_b$  l'énergie par bit d'information et  $R_b$  le débit binaire des informations, on a:

$$C = E_b R_b \quad (1)$$

La puissance totale de bruit à l'entrée du récepteur (dans la largeur de bande de réception  $B$ ) est la somme des puissances de bruit induites générées par  $(m - 1)$  utilisateurs, de la puissance de bruit thermique et de toute autre composante de puissance de bruit brouilleuse:

$$N_0 B = (m - 1) C + N_{0TH} B + I \quad (2)$$

Ainsi, en utilisant ces deux équations, on a:

$$\begin{aligned} C/I &= \frac{E_b R_b}{N_0 B - (m - 1) C - N_{0TH} B} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{N_0 B}{E_b R_b}\right) - (m - 1) - \left(\frac{N_{0TH} B}{C}\right)} \end{aligned} \quad (3)$$

Si l'on considère maintenant une porteuse de débit binaire  $R_c$ , le rendement spectral de modulation s'écrit:

$$\Gamma = \frac{R_c}{B} \quad (4)$$

Le gain de traitement d'un système AMRC est défini par l'équation suivante:

$$F \Delta \frac{R_c}{R_b} \quad (5)$$

En combinant et en réordonnant ces trois équations, on a:

$$m = 1 + \frac{F}{\Gamma(E_b/N_0)} - \frac{1}{(C/I)} - \frac{1}{(C/N_{TH})} \quad (6)$$

Cette équation montre qu'avec un système AMRC, il est facile d'accepter une augmentation des brouillages extérieurs en réduisant la capacité du système. Pour un rapport  $E_b/N_0$  donné, et en supposant que le rapport  $C/I$  et le rapport  $C/N_{TH}$  sont négligeables par rapport au bruit induit, le nombre maximal d'accès simultanés est obtenu par résolution de l'équation suivante:

$$m_{max} = 1 + \frac{F}{\Gamma(E_b/N_0)} \quad (7)$$

Il convient de noter que cette limite est pour ainsi dire inversement proportionnelle au rapport  $E_b/N_0$ . L'AMRC se distingue des deux autres méthodes d'accès par le fait qu'une réduction de la qualité de fonctionnement du système permet d'obtenir une augmentation de sa capacité sans modification des autres paramètres du système (voir le § 2.1.2 a)) et vice versa.

L'équation (7) repose sur un certain nombre d'hypothèses de travail:

- comme indiqué plus haut, les contributions de bruit thermique et de brouillage externe sont négligées;
- toujours comme indiqué plus haut, toutes les porteuses présentent la même puissance à l'entrée du récepteur;
- le récepteur est syntonisé et parfaitement verrouillé sur la fréquence du signal entrant;
- le récepteur est parfaitement synchronisé sur les microséquences entrantes.

Notons ici que dans un système numérique à limitation de puissance, la capacité est proportionnelle à la puissance, et qu'en général dans ce type de système, on prévoit une réduction de la capacité correspondant à environ 10% du maximum théorique pour tenir compte des brouillages externes et du bruit propre (dont environ 2,5% pour l'ensemble des signaux brouilleurs externes). En conséquence, nous prendrons pour hypothèse une *capacité théorique réduite de 10% par rapport à la valeur de référence (7,5% pour le bruit thermique et 2,5% pour les signaux brouilleurs externes)*.

### 2.1.2 Avantages des systèmes AMRC pour certaines applications

De nombreux documents indiquent que, comparés aux systèmes à accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) et plus particulièrement aux systèmes à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT), les systèmes AMRC offrent des valeurs de débit médiocres. Et pourtant, les systèmes AMRC offrent en compensation un certain nombre d'avantages, dans certaines applications spécifiques, par rapport aux systèmes AMRF et AMRT. Certaines des raisons communes qui s'inscrivent en faveur de l'utilisation de systèmes AMRC, même compte tenu d'une moindre capacité, sont résumées ci-après:

- a) Dans des conditions de surcharge, la qualité de fonctionnement des systèmes AMRC diminue progressivement. Ces systèmes permettent d'accroître temporairement la capacité de trafic au prix d'une augmentation également temporaire du taux d'erreur binaire (TEB). A l'inverse, lorsque la charge instantanée est en fait inférieure à la charge maximale, la qualité de la liaison (exprimée en TEB) s'améliore, par rapport à un système fonctionnant à pleine charge.
- b) Il est facile d'adapter une commande vocale à des systèmes AMRC. Avec un AMRC à commande vocale, l'accès multiple avec assignation à la demande (AMAD) peut porter à la fois sur la largeur de bande du répéteur et sur sa puissance.

- c) Les systèmes AMRC permettent de réduire la densité spectrale de puissance à l'émission et donc de réduire les risques de brouillage sur des porteuses à largeur de bande relativement limitée. Un système AMRC-SD répartit la bande de base sur une largeur plus importante, ce qui réduit la densité spectrale de puissance proportionnellement au gain de traitement du système. Cette caractéristique est très utile lorsque le système est exploité en partage de fréquences avec des systèmes de Terre, notamment lorsque les stations mobiles sont dotées d'antennes de petit diamètre à grande ouverture.
- d) Dans un système AMRC, le signal, de par l'absence de tout seuil brutal, présente un meilleur comportement dans des conditions d'évanouissement ou d'occultation puisque l'évanouissement affecte aussi bien le signal brouilleur que le signal utile (par rapport à un système AMRF) et puisque le signal est moins sensible aux effets de la propagation par trajets multiples. En effet, les signaux propagés par trajets multiples se combinent au signal utile de façon positive ou négative. Lorsque l'intégration est négative ou encore destructive, on enregistre en fait tout simplement une augmentation du bruit du système qui peut être décorrélée du signal utile au niveau du récepteur.

### 2.1.3 Acquisition et synchronisation

L'un des avantages des systèmes AMRC au niveau de la poursuite de la fréquence réside dans leur relative immunité à l'effet Doppler. Toutefois, les trois problèmes fondamentaux à régler dans un système AMRC sont l'acquisition initiale, la synchronisation et la poursuite, aussi bien de la microséquence de code du signal utile que de la fréquence de transmission. Ces problèmes ont été étudiés de façon approfondie et peuvent être maintenant parfaitement résolus avec le traitement numérique du signal.

### 2.1.4 Effets d'une commande de puissance imparfaite

Autre problème à régler lorsque l'on envisage d'utiliser un système AMRC à 30/20 GHz, les effets de la commande de puissance. Dans un système AMRC idéal, chaque signal émis présente la même puissance de porteuse à l'entrée du récepteur. Cette caractéristique était d'ailleurs l'une des principales hypothèses de travail retenues dans notre définition de l'équation de capacité d'un système AMRC. Cette équation permet précisément de constater que la capacité du système est pour ainsi dire inversement proportionnelle au rapport  $E_b/N_0$ , dont on peut dire en fait qu'il est fonction lui-même de la puissance de la porteuse reçue. Aussi, sur le plan qualitatif, cette équation montre que la capacité maximale du système diminue en raison inverse du rapport  $E_b/N_0$  requis. Dans un système réel, un certain nombre d'éléments, isolés ou combinés, peuvent entraîner des différences de niveau de puissance du signal reçu:

- commande de puissance d'émission;
- évanouissement dû à la pluie;
- effets géographiques découlant du découplage des antennes de satellite et variations de l'affaiblissement en espace libre;
- masquage et occultation (pour les stations mobiles);
- erreur de pointage d'antenne (facteur sans importance particulière dans le cas d'antennes mobiles à grande ouverture de faisceau, mais source de problèmes dans le cas d'antennes à faible ouverture montées sur des véhicules);
- mouvement propre du satellite (ne posant guère de problème dans le cas de satellites géostationnaires).

Pour résoudre les problèmes découlant de ces éléments supplémentaires et égaliser, dans la mesure du possible, toutes les puissances des porteuses à la réception, il faut prévoir, sur chaque émetteur, un système de commande de puissance en amont et donc, sur chaque station terrienne d'un système AMRC:

- un (des) moyen(s) de contrôler la puissance surfacique au niveau du satellite;
- un réglage de puissance de sortie de l'émetteur sur une gamme prédéterminée.

Il convient de noter que, quelle que soit la qualité du système de commande de puissance de la station terrienne, certaines erreurs inéluctables se traduiront par une variation du niveau du signal reçu, ne serait-ce qu'en raison des variations de temps de propagation inévitables lorsque l'on utilise des satellites géostationnaires et des différences de niveau des évanouissements sur le trajet montant et sur le trajet descendant. Pour tenir compte de ces erreurs, nous utiliserons l'expression «commande de puissance imparfaite». De nombreuses études ont d'ailleurs été consacrées aux effets d'une commande de puissance imparfaite (on parle parfois des «effets de proximité-distance») dans le cas de systèmes de Terre cellulaires. Toutefois, en raison des différences fondamentales que l'on observe entre les caractéristiques des canaux des systèmes de Terre d'une part et des systèmes à satellites d'autre part (en ce qui concerne les temps de propagation et les conditions de propagation, par exemple), ces études n'apportent guère d'éclaircissements sur les effets d'une commande de puissance imparfaite sur un système à satellite AMRC. Le calcul exposé ci-dessous illustrera pourtant les effets d'une commande de puissance imparfaite sur la capacité d'un système à satellite AMRC.

Considérons un utilisateur unique, que nous appellerons utilisateur 1 de système AMRC-SD *asynchrone* (correspondant au cas hypothétique le plus défavorable). Pour cet utilisateur, la densité spectrale de puissance totale des signaux brouilleurs induits par le système,  $I_{0SN}$ , s'écrit:

$$\begin{aligned} I_{0SN} &= \frac{I_{SN}}{B} \\ &= \frac{I_{SN}}{R_c/\Gamma} \\ &= \frac{I_{SN} \Gamma}{R_b F} \end{aligned} \quad (8)$$

où:

$$I_{SN} = \sum_{i=2}^m C_i \quad (9)$$

La puissance surfacique de bruit totale,  $N_0$ , est la somme de la puissance surfacique brouilleuse interne du système,  $I_{0SN}$ , de la puissance surfacique de bruit thermique,  $N_{0TH}$ , et de la puissance surfacique de tout autre signal brouilleur externe,  $I_0$ . En conséquence, le rapport  $E_b/N_0$  du signal, pour l'utilisateur 1, s'écrit:

$$\begin{aligned} \frac{E_{bI}}{N_0} &= \frac{E_{bI}}{I_{0SN} + N_{0TH} + I_0} \\ &= \frac{E_{bI}}{\left( \frac{I_{SN} \Gamma}{R_b F} \right) + N_{0TH} + I_0} \end{aligned} \quad (10)$$

Pour que l'utilisateur 1 conserve un TEB donné, une certaine valeur du rapport  $E_b/N_0$  est requise (selon le système de codage utilisé). Cette valeur  $(E_b/N_0)_{req}$  doit donc être observée lorsque le bruit interne du système est à sa valeur maximale:

$$(E_b/N_0)_{req} = \frac{E_{b1}}{\left(\frac{I_{SN_{max}} \Gamma}{R_b F}\right) + N_{0TH} + I_0} \quad (11)$$

En réordonnant cette équation, et en prenant  $C_1 = E_{b1} R_b$ , on calcule ensuite le bruit interne maximum tolérable:

$$I_{SN_{max}} = \frac{C_1 F}{\Gamma} \left( \frac{1}{(E_b/N_0)_{req}} - \frac{1}{(E_{b1}/N_{0TH})} - \frac{1}{(E_{b1}/I_0)} \right) \quad (12)$$

On obtient alors la puissance moyenne de tous les autres signaux traités par le système AMRC-SD (exception faite de l'utilisateur 1):

$$\bar{C} = \frac{I_{SN_{max}}}{m - 1} \quad (13)$$

On suppose maintenant que l'utilisateur 1 est celui dont le signal est le plus faible (ce qui correspond, pour cet utilisateur, au scénario le plus défavorable) et on définit comme suit la constante dynamique du signal,  $D$ , à l'entrée du récepteur:

$$\bar{C} = DC_1 \quad (14)$$

Notons que  $D$  indique la qualité de fonctionnement du système de commande de puissance et que par définition,  $D \geq 1$ . En combinant donc et en réordonnant les trois équations qui précèdent, on obtient:

$$m = 1 + \frac{F}{D\Gamma} \left( \frac{1}{(E_b/N_0)_{req}} - \frac{1}{(E_{b1}/N_{0TH})} - \frac{1}{(E_{b1}/I_0)} \right) \quad (15)$$

En supposant que les caractéristiques du système sont constantes, on peut exprimer l'équation (15) comme suit ( $A$  est une constante):

$$m = 1 + \frac{A}{D} \quad (16)$$

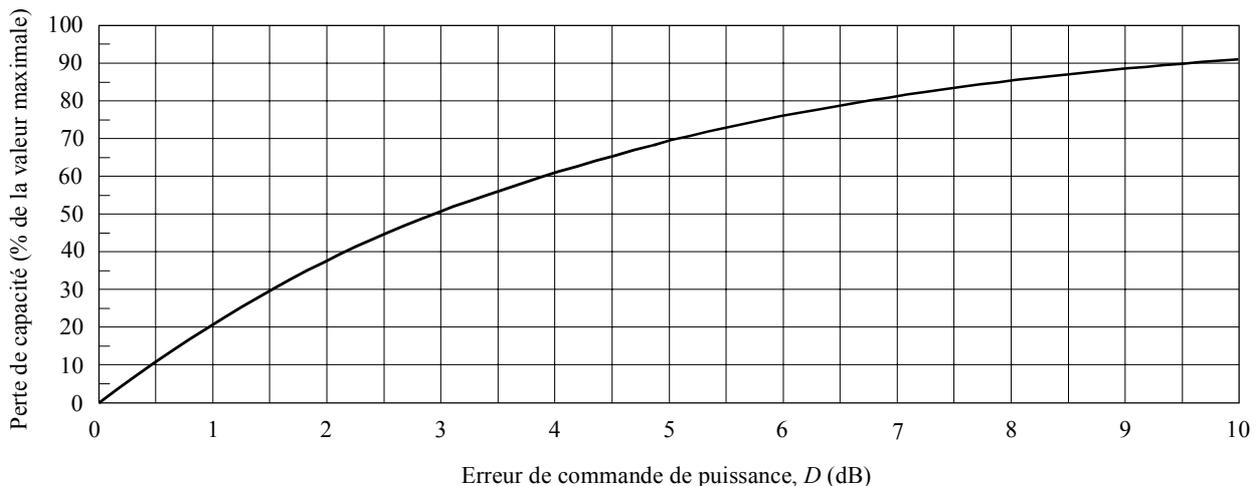
L'une et l'autre de ces deux équations montrent bien que:

- pour maximiser la capacité du système, la valeur optimale est  $D = 1$ , ce qui signifie simplement que tous les signaux ont le même niveau à l'entrée du récepteur, c'est-à-dire que tous les niveaux de puissance sont parfaitement régulés;
- comme on pouvait s'y attendre, on optimise la capacité du système en minimisant l'erreur de commande de puissance.

Avec l'équation (16), et lorsque la capacité maximale du système est connue (en supposant que la puissance est parfaitement régulée), on peut calculer la capacité du système pour un niveau de commande de puissance donné en calculant la constante  $A$  et en supposant que les paramètres du système ne sont pas modifiés. Lorsque la capacité maximale du système est relativement élevée, on peut approximer l'équation (16) en posant  $m \approx A/D$ . Cette approximation nous permet alors de tracer le graphe (voir la Fig. 1) de la commande de puissance en fonction du pourcentage de capacité perdue pour un grand nombre de porteuses. On constate alors, par exemple, que si  $D = 1,25$  ( $\approx 1$  dB), on perd 20% de la capacité maximale.

FIGURE 1

Pourcentage de perte de capacité AMRC (dans le cas d'une capacité maximale importante) en fonction de l'erreur de commande de puissance,  $D$



1329-01

Il importe au plus haut point de noter que ces équations ont été établies pour un système AMRC absolument asynchrone. Cette configuration correspond au cas le plus défavorable puisqu'un système AMRC parfaitement synchrone sera moins affecté par l'erreur de commande de puissance (en particulier lorsque l'on utilise des séquences de code à faible corrélation croisée, par exemple des codes de Gold). En effet, la capacité maximale du système est dans ce cas plus élevée, par rapport à celle que l'on obtient avec un système asynchrone, puisque les microséquences de codage des émetteurs sont soigneusement synchronisées, ce qui minimise la totalité des produits de corrélation croisée et donc le brouillage dû au bruit interne du système. Toutefois, l'utilisation de systèmes parfaitement synchrones dans le cas de systèmes mobiles n'est peut-être pas viable pour des raisons économiques.

Malgré le problème que pose l'imperfection de la commande de la puissance, un système AMRC présente certaines caractéristiques qui le rendent intéressant, en tant que technique d'accès multiple, pour des systèmes à stations mobiles. Le partage des fréquences peut être facilité par le fait qu'avec de tels systèmes, on peut accepter certains brouillages en réduisant simplement la capacité d'ensemble. De nombreux documents indiquent que le débit des systèmes AMRC est faible, ce qui impliquerait que l'efficacité spectrale de ces systèmes est également médiocre. Pourtant, s'il est vrai que le rendement est effectivement faible au niveau d'un seul satellite, le rendement d'ensemble, considéré sur un arc orbital, est peut-être meilleur qu'avec d'autres techniques d'accès du fait que l'espacement des satellites est plus serré. Il en découle que, lorsque l'on étudie le rendement d'un système en projet, il y a lieu de définir un indicateur lié, d'une manière ou d'une autre, à l'espacement orbital minimum envisageable (par exemple, le rendement spectral de modulation par degré d'espacement des satellites sur l'arc orbital).

### 2.1.5 Incidence de la commande de puissance sur le TEB

Les signaux modulés dans les bandes 30/20 GHz sont sujets à d'importants évanouissements dus à la pluie qui s'ajoutent aux éventuels affaiblissements d'absorption dans l'atmosphère. A des fréquences inférieures, les évanouissements dus à la pluie posent également un problème, mais leur amplitude est suffisamment limitée pour que l'on puisse résoudre ce problème en prévoyant des marges fixes dans les bilans de liaison. Le comportement qualitatif d'une liaison est défini sur la base de la valeur de cette marge fixe de compensation des évanouissements dus à la pluie et des prévisions établies quant au pourcentage de temps pendant lequel cette marge est susceptible d'être dépassée. De tels critères de qualité de fonctionnement sont généralement spécifiés par des valeurs de l'ordre de 99,9% ou 99,99% du temps. A 30/20 GHz, les évanouissements qui «dépassent» ces critères sont trop importants pour que le problème qu'ils posent puisse être directement réglé par des marges fixes de telle sorte que, lorsque l'on exige des pourcentages aussi élevés, il faut avoir recours à d'autres méthodes, ou encore accepter une moindre qualité de fonctionnement. A 30/20 GHz, les évanouissements dus à la pluie peuvent être observés à un taux pouvant atteindre 3 ou 4 dB par seconde. Les méthodes envisageables pour remédier à ce phénomène sont, par exemple, la diversité d'espace, la correction d'erreur directe adaptative, la commande de puissance sur le trajet montant, les débits de transmission adaptatifs et enfin l'AMRT ou l'AMRC.

Au § 2.1.4, l'équation (16) nous a permis de calculer l'effet d'une commande de puissance imparfaite sur la capacité du système. Dans les calculs utilisés pour établir cette équation, le rapport  $(E_b/N_0)_{req}$  de l'utilisateur 1 a été maintenu constant. Toutefois, dans la pratique, on pourra accepter des dégradations à court terme du TEB (et donc du rapport  $E_b/N_0$ ). La possibilité de tolérer de telles dégradations dépendra en l'occurrence des conditions d'exploitation normales du système. Par exemple, avec un système exploité normalement à un TEB de  $1 \times 10^{-7}$ , on pourra accepter de brèves chutes du rapport  $C/N$  se traduisant par un TEB de  $1 \times 10^{-3}$  pour un temps cumulatif correspondant environ à 0,01% de l'année. En revanche, un système de communication personnelle exploité normalement à un TEB de  $1 \times 10^{-3}$  ne pourra peut-être pas accepter une telle réduction du rapport  $C/N$ . En réordonnant l'équation (16), on peut déterminer les erreurs de commande de puissance que de telles dégradations permettraient de tolérer. L'ordre de grandeur des erreurs de commande de puissance tolérables au prix d'une dégradation à court terme du TEB dépend directement du système de correction d'erreur directe utilisé sur la liaison. Un exemple simple nous permettra de démontrer les possibilités ainsi offertes par des dégradations à court terme.

Considérons la porteuse numéro 15 du Tableau 1. Cette porteuse est utilisée dans un système AMRC du service fixe constituant le noyau principal d'un réseau de microstations. Ce système fonctionne avec un rapport  $E_b/N_0$  de 5,3 dB à demi-débit, avec un code de correction d'erreur directe à convolution et décodage de Viterbi à décision douce (longueur de contrainte, 7). On obtient ainsi un TEB de  $1 \times 10^{-6}$ . La modulation est de type MDP-4 (rendement spectral idéal,  $\Gamma = 2$  bit/s/Hz), et le gain de traitement du système AMRC,  $F$ , est égal à 1 000. Dans cet exemple, nous supposons que les brouillages externes et les bruits d'origine thermique sont négligeables, ce qui facilitera le calcul. Avec l'équation (16), et si l'on suppose que la commande de puissance est parfaite, la capacité maximale du système est de:

$$\begin{aligned}
 m &= 1 + \frac{F}{D\Gamma(E_b/N_0)} \\
 &= 1 + \frac{1\,000}{1 \times 2 \times 10^{0,53}} \\
 &= 148,56
 \end{aligned} \tag{17}$$

Ainsi, avec une commande de puissance parfaite, soit  $D = 1$ , la capacité maximale du système est de 148 porteuses simultanées. Nous supposons maintenant que, dans ce système, le TEB doit être meilleur que  $1 \times 10^{-6}$  pendant un temps intégré correspondant à 99,9% de l'année. La Fig. 2 donne la fonction représentative du pourcentage de l'année pendant lequel un évanouissement maximal se produira probablement ( $p\%$ ) en fonction de la profondeur des évanouissements dus à la pluie dans les bandes 30/20 GHz en Angleterre. A examiner ce graphe, on constate que pour un seuil de 99,9% (soit  $p = 0,1\%$ ), un évanouissement maximal de 8,5 dB ne se produira pas à 30 GHz (fréquence correspondant au cas le plus défavorable). Ainsi, pour faire en sorte que les 148 porteuses puissent être opérationnelles pendant 99,9% de l'année, il est nécessaire de prévoir un système de commande de puissance parfait sur une fourchette de régulation de 8,5 dB. Nous supposons qu'il est possible d'activer un tel système et nous ramènerons alors le TEB à  $1 \times 10^{-3}$  tout en maintenant constant le nombre d'accès simultanés. Avec le système de codage décrit, un TEB de  $1 \times 10^{-3}$  donne un rapport  $E_b/N_0$  de 3,4 dB. L'erreur maximale de commande de puissance tolérable au prix d'une telle baisse du TEB peut maintenant être calculée à partir de l'équation (16):

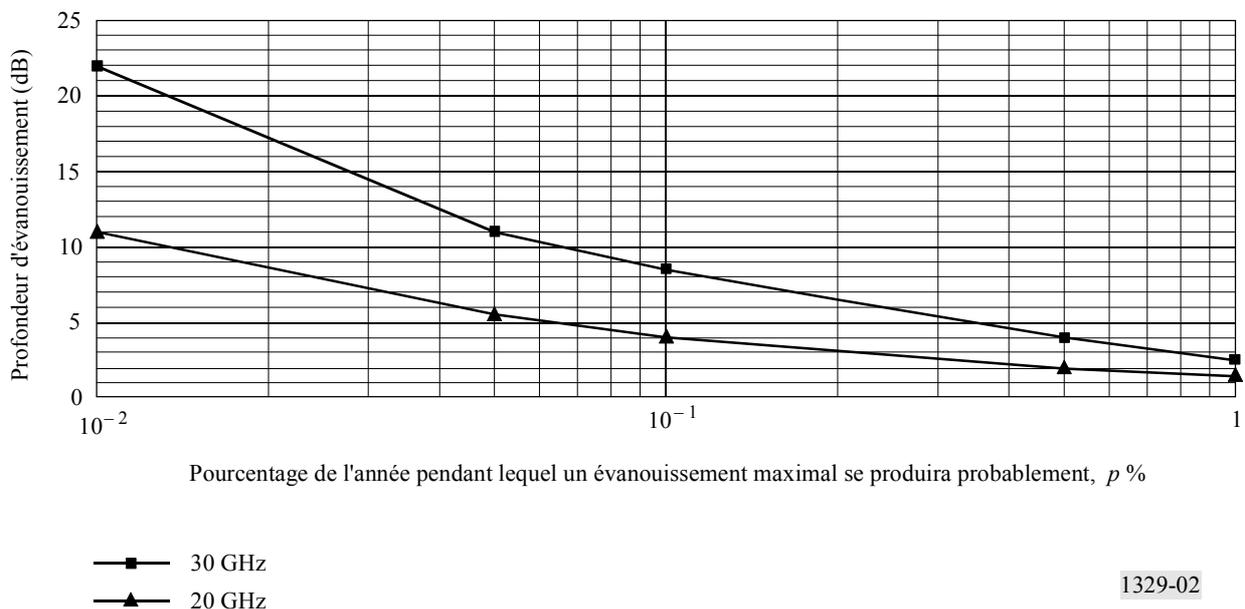
$$m = 1 + \frac{F}{D\Gamma(E_b/N_0)}$$

soit: 
$$148,56 = 1 + \frac{1000}{D \times 2 \times 10^{0,34}} \quad (18)$$

de sorte que: 
$$D = 1,55, \text{ soit } 1,9 \text{ dB}$$

En conséquence, pour un TEB tolérable de  $1 \times 10^{-3}$ , avec une régulation de puissance parfaite sur une fourchette maximale de 8,5 dB, on peut accepter un évanouissement de 10,4 dB. La Fig. 2 permet de constater que le pourcentage de l'année  $p$  pendant lequel cette profondeur d'évanouissement est dépassée se chiffre à 0,06% (à 30 GHz). En conséquence, si la commande de puissance du système est parfaite sur 8,5 dB, 148 porteuses sont simultanément disponibles pour un TEB de  $1 \times 10^{-6}$  pendant toute l'année, à l'exception d'un temps cumulatif total de 8 h 45 min ( $p = 0,1\%$ ). Si le système peut accepter un TEB ramené à  $1 \times 10^{-3}$  pendant un temps total de 3 h 30 min (soit 0,1% moins 0,06% de l'année), il est possible de disposer de 148 porteuses simultanément pendant toute l'année à l'exception d'un temps cumulatif correspondant à 5 h 15 min ( $p = 0,06\%$ ).

FIGURE 2  
Evanouissements dus à la pluie à 30/20 GHz au-dessus de l'Angleterre



Notons que dans cet exemple les brouillages externes et le bruit thermique sont négligeables par hypothèse, tandis que la commande de puissance est parfaite sur 8,5 dB. A l'aide des techniques décrites dans la présente Recommandation, il est relativement simple d'étendre cet exemple à une configuration dans laquelle il existe des brouillages extérieurs et un bruit thermique non négligeables, tandis que la commande de puissance est imparfaite.

### 2.1.6 Commande de puissance – Précision de la commande de puissance

Diverses méthodes (codage à débit variable, débit de transmission variable, etc.) permettent de maintenir un TEB constant sur une liaison par satellite en présence d'évanouissements. Toutefois, ces solutions entraînent toujours une certaine perte de capacité du système en raison des variations des niveaux de puissance des porteuses à l'entrée du récepteur. Le seul moyen de résoudre ce problème est donc de maintenir constant le TEB sur la liaison tout en conservant la capacité nominale du système et de prévoir une commande de puissance sur le trajet montant au niveau de l'émetteur.

La précision de régulation de la puissance sur le trajet montant présente une grande importance dans le cas d'un système AMRC, comme nous l'avons vu au § 2.1.4. Cette précision dépend elle-même de la précision de mesure de l'erreur de commande de puissance d'une part et de la précision de la régulation de la puissance de l'émetteur d'autre part. Les lignes qui suivent décrivent deux méthodes de mesure de l'erreur de commande de puissance applicables dans le cas d'un système de commande de puissance sur le trajet montant:

- *Méthode de la «Boucle ouverte rapide»*: selon cette méthode, la commande de puissance de l'émetteur est régulée d'après les variations d'un signal de radiobalise émis par le satellite. On peut utiliser, soit une radiobalise installée à bord du satellite, soit un signal émis par la station principale, dans le cadre de ses propres transmissions, à un niveau supérieur (par exemple de 6 dB) aux signaux d'information proprement dits. Ce signal peut alors être exploité non seulement pour la commande de puissance, mais encore, par exemple dans le cas d'un système AMRC, pour acquérir et suivre la fréquence et le code du signal utile et donc assurer la synchronisation du système. Le trajet ne comportant qu'un seul bond, le temps de propagation est réduit, de sorte que la méthode est relativement rapide. Notons au passage que cette méthode est bien adaptée aux situations dans lesquelles les fréquences de liaison montante et les fréquences de liaison descendante sont affectées simultanément (dans le cas, par exemple, d'effets de masquage dus à des bâtiments ou à des arbres) et qu'à l'évidence, elle ne sera pas aussi efficace lorsque les effets en question dépendent de la fréquence (par exemple, dans le cas d'un évanouissement dû à la pluie, puisque l'on observe souvent en pareille situation une décorrélation des fréquences d'émission et de réception). En raison précisément de ce problème de dépendance des effets vis-à-vis de la fréquence considérée, cette méthode de commande de puissance est parfois qualifiée de «grossière» puisqu'il subsiste souvent une erreur considérable dans la puissance du signal à l'entrée du récepteur.
- *Méthode de la «Boucle fermée lente»*: selon cette méthode, on mesure un paramètre de qualité de fonctionnement de la liaison (par exemple, rapport  $C/N$  ou TEB) au niveau de la station terrienne de réception, et les informations de commande de puissance sont ensuite renvoyées à la station terrienne d'émission sur la voie de retour (par exemple, sur le canal de commande associé à cette liaison). Pour faire en sorte que soient mesurées les erreurs de commande de puissance sur les liaisons montantes (et non pas les erreurs dues aux affaiblissements sur les liaisons descendantes, etc.), il est indispensable de contrôler tous les

signaux entrant au niveau de la station terrienne réceptrice. Lorsque l'on observe que le niveau d'un signal diminue par rapport aux autres, on peut dire qu'il y a un évanouissement sur la liaison montante, et il faut alors envoyer des informations de commande de puissance; lorsque le niveau de tous les signaux diminue, il y a évanouissement sur la liaison descendante et aucune information de commande de puissance ne doit être émise. La mesure du TEB sur la liaison est souvent fort lente (de l'ordre de plusieurs secondes), surtout dans le cas d'une liaison à faible débit binaire, puisqu'il faut compter un nombre relativement élevé d'erreurs (50-100, par exemple) avant d'obtenir une indication valable du TEB. Comme par ailleurs, il est nécessaire de tenir compte du temps de propagation sur deux bords dans un système à boucle fermée, il n'est pas étonnant que cette méthode ait été qualifiée de lente! Toutefois, les informations de commande de puissance qui sont renvoyées sont relativement précises, même lorsque ces informations sont anciennes à l'instant où elles sont reçues, de sorte qu'elles sont souvent utilisées dans des systèmes à prédiction, dans lesquels on obtient des estimations de la situation instantanées par traitement d'informations anciennes.

Ces deux méthodes peuvent être utilisées séparément, mais du fait qu'elles présentent l'une et l'autre des insuffisances, elles sont souvent utilisées ensemble, de manière prédéterminée (par exemple, la commande sur boucle ouverte règle le niveau de puissance jusqu'à préemption par la commande sur boucle fermée).

En raison des lacunes que présentent ces systèmes de mesure, et de l'imprécision éventuelle du réglage du niveau de puissance d'émission, il subsiste toujours une erreur de commande de puissance résiduelle. L'effet de cette erreur résiduelle sur la capacité d'un système AMRC peut être évalué à partir de l'équation (15). Malheureusement, il n'a pas été possible, au cours de l'étude, de régler intégralement le problème, du fait qu'aucun résultat publié sur le comportement qualitatif des systèmes de commande de puissance n'a pu être localisé. Le manque de résultats publiés sur la base de mesures pratiques ne concerne pas simplement les bandes 30/20 GHz: le problème se pose à toutes les fréquences et concerne par ailleurs la totalité des systèmes AMRC cellulaires de Terre (dont la technologie est plus avancée que les systèmes mobiles par satellite AMRC).

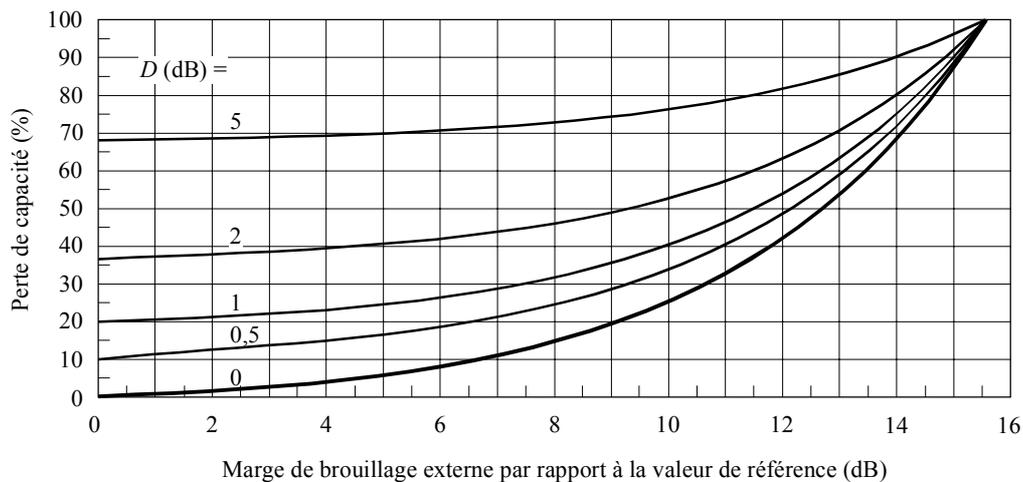
### 2.1.7 Compromis entre la capacité d'un système AMRC et le brouillage tolérable

L'équation (6) montre que l'on peut facilement accepter une augmentation des brouillages externes en admettant une réduction de la capacité d'un système AMRC tout en conservant la qualité de fonctionnement requise sur les liaisons et sans modifier les paramètres de modulation ou d'accès. *A cet égard, les systèmes AMRC offrent une caractéristique unique que ne présentent pas les deux autres grandes techniques d'accès.* Notons qu'en réduisant la capacité d'un système AMRC, on réduit également les risques de brouillages dus à ce système puisque la p.i.r.e. totale du bloc AMRC est également réduite. Notons également que le rapport de protection requis pour ce bloc AMRC est par là même abaissé, de sorte que la sensibilité au brouillage diminue lorsque la capacité est réduite (voir le § 3.4 pour une discussion plus complète des rapports de protection des systèmes AMRC). La Fig. 3 illustre le domaine de compromis entre les brouillages externes et la capacité, compte tenu des effets de l'erreur de commande de puissance dans le cas d'un système utilisant la porteuse 15 du Tableau 1. Notons qu'en l'occurrence, la valeur de référence du bruit thermique réduit la capacité maximale théorique de 7,5% (et que ce pourcentage est constant), tandis que la valeur de référence des brouillages externes réduit la capacité maximale théorique de 2,5% (et que c'est ce pourcentage qui augmente). Pour plus d'informations sur ces valeurs de référence, se reporter au § 2.1.1.

Ainsi, par exemple, si l'on accroît de 7 dB, par rapport à la valeur de référence, la tolérance de brouillage externe, on réduit la capacité (par rapport au maximum de référence) de 10% avec une commande de puissance parfaite, de 20% avec une erreur de commande de puissance de 0,5 dB (par exemple,  $D = 0,5$  dB), de 30% avec une erreur de commande de puissance de 1 dB, de 44% avec une erreur de commande de puissance de 2 dB et enfin de 73% avec une erreur de commande de puissance de 5 dB. Les pertes de capacité peuvent être acceptables lorsque la coordination est possible et qu'autrement il est totalement impossible d'assurer la coordination.

FIGURE 3

Pourcentage de perte de capacité AMRC en fonction de la marge prévue pour les brouillages externes, compte tenu de l'effet de l'erreur de commande de puissance,  $D$



Note 1 – La porteuse 15 a été utilisée dans l'établissement de ce graphe.

1329-03

## 2.2 Incidence des faisceaux ponctuels

Dans notre étude, on peut prendre pour hypothèse un brouillage interfaisceau peu important dans un système de faisceaux ponctuels soigneusement calculé, afin de réduire l'espacement des satellites. Lorsque des faisceaux de satellites adjacents utilisent les mêmes fréquences et que ces faisceaux sont largement espacés ou même entrelacés, on peut observer d'importants phénomènes de découplage d'antennes entre les signaux utiles et les signaux brouilleurs. Dans le cas de telles configurations à zone de couverture non commune, on peut fortement réduire les intervalles d'espacements des satellites puisque les niveaux de brouillage sont réduits proportionnellement à l'augmentation de la discrimination. Toutefois, si deux administrations souhaitent couvrir la même région et que:

- l'une souhaite utiliser des faisceaux ponctuels tandis que l'autre préfère un faisceau plus large, ou
- ces deux administrations souhaitent utiliser des faisceaux ponctuels mais ne s'accordent pas sur un plan d'entrelacement faisceaux/fréquences convenable,

divers problèmes se posent. En général, le recours à des faisceaux ponctuels entrelacés en tant que moyen de parvenir à une bonne efficacité d'utilisation de l'orbite et du spectre n'est envisageable que lorsqu'un seul et même opérateur contrôle la totalité des réseaux qui utilisent des fréquences en partage.

Dans toute étude de partage, on peut considérer aussi bien des faisceaux ponctuels que des faisceaux à large ouverture, ainsi que leurs paramètres fondamentalement différents, mais un fonctionnement en zone de couverture commune est souvent nécessaire pour un accès équitable à l'OSG.

### 2.3 Incidence de l'utilisation de systèmes de traitement à bord avec régénération

Un système de traitement à bord est toujours requis dans le cas de satellites utilisant des faisceaux ponctuels multiples si l'on veut obtenir une connectivité intégrale et efficace entre faisceaux. Dans un traitement à bord avec régénération, le signal entrant est démodulé, décodé, «aiguillé» sur le faisceau sortant adéquat, recodé et remodulé. Pour l'essentiel, cette procédure se traduit par un découplage du bruit entre la liaison montante et la liaison descendante et permet d'utiliser sur ces liaisons des systèmes de modulation et d'accès multiple différents. Si l'on désigne respectivement par  $BER_u$  et  $BER_d$  le TEB de la liaison montante et celui de la liaison descendante, on a, dans le cas d'un système d'un traitement à bord avec régénération – et de faibles valeurs de TEB –, un TEB total de liaison,  $BER_t$ , qui s'écrit:

$$BER_t \approx BER_u + BER_d \quad (19)$$

Pour un taux  $E_b/N_0$ , donné, le TEB sera inférieur à la valeur obtenue dans le cas d'un système à satellites avec répéteur transparent. Dans le cas d'un répéteur transparent, le rapport total  $C/N$  de la liaison donne le rapport  $E_b/N_0$  de la liaison que l'on peut caractériser par une valeur de TEB donnée. Pour obtenir la même valeur de TEB avec un système de traitement à bord avec régénération, on peut envisager une réduction maximale de 3 dB du rapport  $C/N$  si, et seulement si, l'on observe 50% du bruit sur la liaison montante et 50% sur la liaison descendante. Une réduction de 3 dB du rapport  $C/N$  implique une réduction de 3 dB du rapport de protection de cette porteuse, ce qui peut se traduire par une réduction de 32% des intervalles d'espacement des satellites (en supposant une loi de décroissance des lobes latéraux des antennes de  $25 \log_{10} \phi$ ). Si l'on observe généralement une répartition équilibrée du bruit entre la liaison montante et la liaison descendante dans le cas de réseaux à liaisons directes mobile-mobile, cette répartition équilibrée est relativement improbable dans le cas d'un grand nombre d'autres applications. Si l'on considère des répartitions de plus en plus inégales du bruit, ce que l'on peut considérer comme une réduction raisonnable tombe assez rapidement à zéro; par exemple, si l'on observe 10% du bruit sur la liaison montante et 90% sur la liaison descendante, on relève une réduction de 0,4 dB du rapport  $C/N$ , ce qui implique une réduction de 4% des intervalles d'espacements des satellites. Quelle que soit la valeur numérique effective de la diminution, le traitement à bord avec régénération permet véritablement de réduire l'espacement des satellites, mais au prix de l'utilisation d'une technologie complexe qui n'est pas encore totalement maîtrisée.

## 3 Analyse

### 3.1 Paramètres des porteuses

Les paramètres des porteuses utilisés dans notre analyse sont exposés au Tableau 1. Il s'agit dans tous les cas de porteuses numériques (les porteuses analogiques ayant été étudiées par le GT 4A en 1992). Notons qu'à la colonne intitulée «Nombre de porteuses simultanées», la valeur «1» est associée à toutes les méthodes d'accès autres que par l'AMRC, tandis que la valeur correspondant aux systèmes AMRC est calculée à partir de l'équation (8) sur la base des valeurs de référence de marge de bruit thermique et de marge de bruit à l'extérieur (se traduisant ensemble par une réduction de 10% de la capacité maximale). Il convient également de noter que, dans le cas de porteuses AMRC, les valeurs de p.i.r.e. indiquées dans le Tableau sont des valeurs globales (produit de la p.i.r.e. d'une porteuse et du nombre de porteuses de bloc AMRC – chiffre figurant dans la colonne «Nombre de porteuses simultanées»). Ainsi, le bloc AMRC peut être traité comme une seule porteuse MDP à bande large dans les calculs.

Les porteuses 8 à 33 ont été prises d'un document de travail soumis par le Royaume-Uni au GT 4A en 1993. Cet ensemble est une sélection des porteuses les plus et les moins brouilleuses et des porteuses les plus et les moins sensibles aux brouillages. Les caractéristiques de ces porteuses ont été converties en fréquences à partir de la bande 1,6/1,5 GHz et de la bande 30/20 GHz. La validité de cette conversion de fréquences a été vérifiée par une comparaison ultérieure de paramètres analogues également convertis en fréquences et de paramètres de divers réseaux en projet.

Les porteuses 40 à 43 sont des porteuses 30/20 GHz utilisées dans des réseaux existants ou en projet. Notons que, pour tenir compte des variations dues à la zone climatique, au lieu géographique, etc., on a ajouté 3 dB aux valeurs de p.i.r.e. des stations embarquées et des stations terriennes dans le cas des valeurs maximales, et retranché 3 dB pour obtenir les valeurs minimales.

Les porteuses 50 à 62 représentent l'ensemble des porteuses décrites dans un document soumis par INTELSAT au GT 4A à l'occasion de sa réunion de 1993. Notons qu'ici encore 3 dB ont été ajoutés ou retranchés pour obtenir les valeurs maximales/minimales de p.i.r.e. des stations de satellite et de stations terriennes.

Les porteuses 80 à 86 ont été définies à partir des paramètres décrits dans une contribution du Canada à la réunion du GT 4A de 1993. Chaque liaison fait intervenir une station centrale multimédia multi-utilisateur (MUMM). On a calculé dans chaque cas des bilans de liaison à répéteur transparent pour obtenir la même valeur totale de TEB sur une liaison qu'avec des répéteurs avec régénération (l'équation (19) permettant en l'occurrence de calculer le TEB total d'une liaison avec répéteur à régénération). Sur les liaisons aller, on supposait que 10% du bruit se produisait sur la liaison montante et 90% s'observait sur la liaison descendante. Sur la liaison retour, on supposait que 10% du bruit s'observait sur la liaison descendante et 90% sur la liaison montante. Avec de telles hypothèses, on pouvait calculer les valeurs de p.i.r.e. requises au niveau de la station embarquée et de la station terrienne. Notons qu'une fois encore 3 dB ont été ajoutés ou retranchés pour obtenir les valeurs maximales/minimales de p.i.r.e. au niveau de la station embarquée et au niveau de la station terrienne.

### 3.2 Diagrammes d'antenne (service fixe et service mobile)

Dans tout calcul d'espacement de satellites, le scénario le plus défavorable est celui d'une couverture commune. Dans ce cas en effet, seules les discriminations d'antenne hors axe des stations terriennes à l'origine du signal utile et du signal brouilleur décident de l'espacement minimal entre satellites. En conséquence, les caractéristiques de décroissance des antennes de station terrienne pouvant être utilisées doivent être connues avant tout calcul d'espacement.

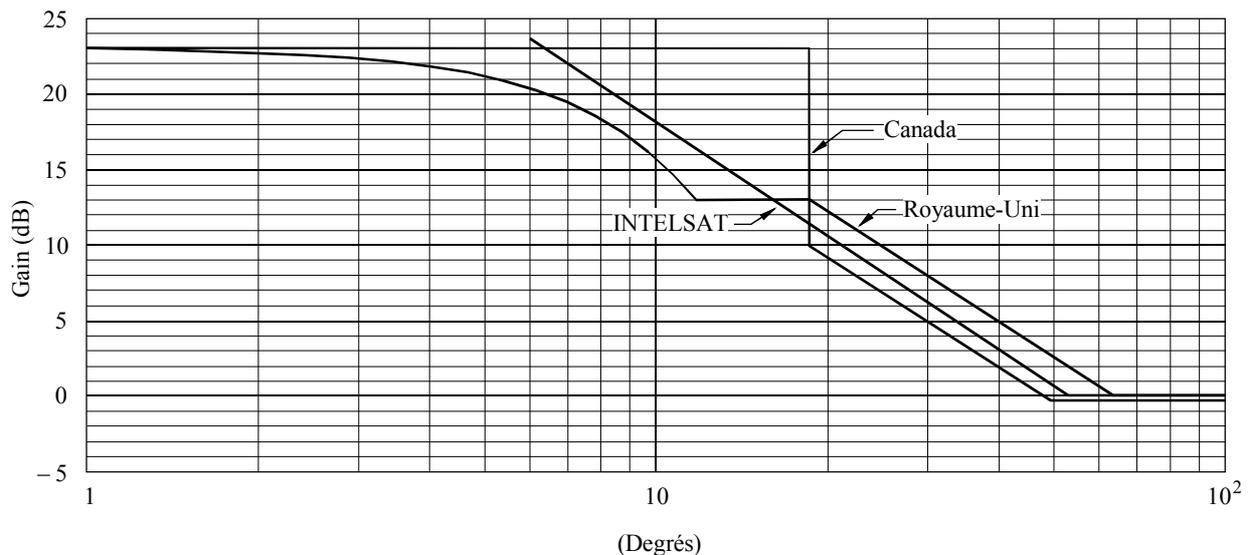
Le Tableau 1 (porteuses) spécifie les diagrammes d'antenne utilisés par les stations terriennes d'émission et de réception associées à chaque porteuse. Chaque porteuse était exploitée avec le diagramme d'antenne correspondant; par exemple, la liaison hypothétique «Intelsat» entre station mobile et station principale utilise le diagramme d'émission de station terrienne mobile pris pour hypothèse dans le document d'INTELSAT et le diagramme de réception spécifié pour la station terrienne fixe dans le document de référence du Royaume-Uni. On trouvera au § 1 de l'Appendice 1 de l'Annexe 1 les équations de tous les diagrammes d'antenne utilisés. On notera les points suivants:

- le diagramme de station terrienne fixe du Royaume-Uni est extrait de l'Appendice S8 du Règlement des radiocommunications (RR);
- le diagramme de station terrienne mobile du Royaume-Uni se fonde sur un modèle d'INMARSAT, corrigé en fréquence;
- les deux diagrammes canadiens présentent un gain maximal de  $0^\circ$  à  $100 \lambda/D^\circ$  hors axe de visée. Dans un document de travail soumis par le Canada, lorsque l'espacement ne pouvait pas être obtenu avec  $0^\circ$  mais pouvait être atteint avec un angle d'espacement inférieur à  $100\lambda/D^\circ$ , la valeur d'espacement était portée à  $110 \lambda/D^\circ$ . Le diagramme du § 3 de l'Appendice 1 de l'Annexe 1 assure l'automatisation de ce processus;

- en ce qui concerne le diagramme canadien correspondant à la station terrienne fixe, une valeur de  $-10$  dBi a été prise pour hypothèse pour les lobes latéraux extrêmes, comme dans l'Appendice S8 du RR, puisqu'aucune valeur n'a été spécifiée dans le document de travail;
- dans le diagramme canadien correspondant à la station terrienne mobile, les lobes latéraux extrêmes ont été maintenus constants au niveau obtenu à  $48^\circ$ , du fait qu'aucune valeur n'a été spécifiée dans le document de travail;
- le diagramme spécifié par le Royaume-Uni pour la station terrienne fixe a été utilisé pour les stations terriennes fixes INTELSAT, du fait qu'aucune équation n'était donnée (la seule caractéristique indiquée pour ces diagrammes étant en l'occurrence  $29 - 25 \log_{10} \phi$  comme dans le cas du diagramme de station terrienne fixe du Royaume-Uni);
- pour ce qui est des diagrammes des stations terriennes mobiles INTELSAT hypothétiques, une valeur de  $0$  dBi a été associée aux lobes latéraux extrêmes, du fait qu'aucune valeur n'a été spécifiée et que l'on obtenait ce résultat à la limite des équations fournies.

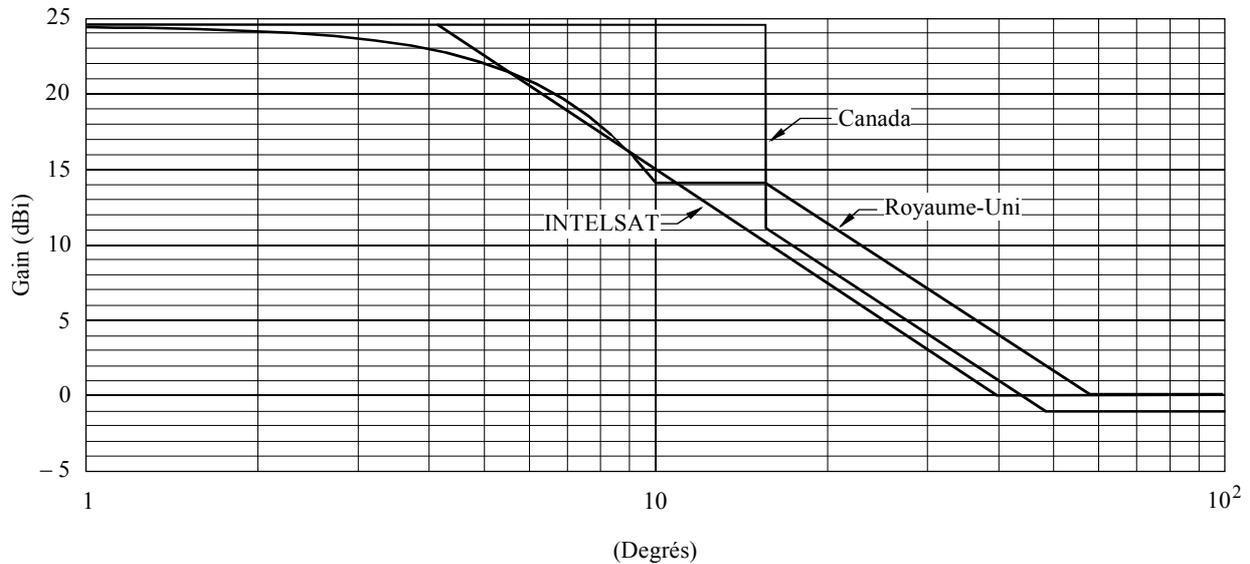
La Fig. 4 compare les diagrammes de station terrienne mobile de réception du Royaume-Uni, du Canada et du système INTELSAT: Dans cette Figure, les trois antennes ont le même gain maximal. La Fig. 5 permet de comparer les diagrammes de station terrienne mobile d'émission du Royaume-Uni, du Canada et du réseau INTELSAT. Ici encore, les trois antennes ont la même valeur maximale de gain.

FIGURE 4  
Comparaison de diagrammes d'antenne mobile de réception



Note 1 – Toutes les antennes ont la même valeur de gain dans l'axe.

FIGURE 5  
 Comparaison de diagrammes d'antenne mobile d'émission



Note 1 – Toutes les antennes ont la même valeur de gain dans l'axe.

1329-05

Aucune valeur n'a été spécifiée en ce qui concerne la précision de pointage de ces antennes. La perte de gain consécutive à une erreur de pointage peut être très importante dans un système AMRC (voir le § 2.1.4): c'est dire qu'il est nécessaire de disposer de certaines valeurs numériques. Les antennes sont, par hypothèse, dotées de systèmes capables de maintenir une précision de pointage de  $1^\circ$  dans le cas de l'antenne réseau à commande de phase (dont la valeur maximale de gain est de 24,5 dBi) et de  $0,1^\circ$  dans le cas de l'antenne de microstation (gain maximal de 23,5 dBi). L'équation suivante permet d'obtenir une valeur approximative de la perte due à une erreur de pointage de  $\theta_p^\circ$ :

$$Perte \text{ (dB)} = 12 \left( \frac{\theta_p D}{68 \lambda} \right)^2 \quad (20)$$

En conséquence, les pertes dues aux erreurs de pointage sont d'environ 0,1 dB dans le cas d'une antenne réseau à commande de phase et de  $0,9 \times 10^{-3}$  dB dans le cas d'une antenne de microstation. Ces valeurs sont relativement faibles comparées aux affaiblissements dus aux précipitations à 30/20 GHz, de sorte que nous n'en avons pas tenu compte dans la présente analyse. Toutefois, il sera peut-être nécessaire de remettre en question ultérieurement la validité de la valeur 0,1 dB dans le cas des stations mobiles.

### 3.3 Equations de brouillage dans un système à satellite

Dans le cas de deux systèmes à couverture commune ou identique, les hypothèses les plus défavorables sont les suivantes:

- la station terrienne utile est située en bordure de couverture du satellite utile et au centre du faisceau du satellite brouilleur;
- la station terrienne brouilleuse est au centre du faisceau du satellite utile et en bordure de couverture du satellite brouilleur.

Avec ces hypothèses, les équations de calcul du  $C/I$  de liaison sont simples. L'équation du  $C/I$  de liaison montante s'écrit:

$$(C/I)_U = (p.i.r.e._{ESw} - 3) - (p.i.r.e._{ESi} - G_{ESi} + G_{ESi}(\varphi)) \quad (21)$$

où:

$p.i.r.e._{ESw}$ : p.i.r.e. de la station terrienne utile

$p.i.r.e._{ESi}$ : p.i.r.e. de la station terrienne brouilleuse

$G_{ESi}$ : valeur maximale du gain d'antenne de la station terrienne brouilleuse

$G_{ESi}(\varphi)$ : gain de l'antenne de la station terrienne brouilleuse à  $\varphi^\circ$ .

De même, l'équation du rapport  $C/I$  de la liaison descendante s'écrit:

$$(C/I)_D = (p.i.r.e._{SATw} - 3 + G_{ESw}) - (p.i.r.e._{SATi} + G_{ESw}(\varphi)) \quad (22)$$

où:

$p.i.r.e._{SATw}$ : p.i.r.e. du satellite utile

$p.i.r.e._{SATi}$ : p.i.r.e. du satellite brouilleur

$G_{ESw}$ : valeur maximale du gain d'antenne de la station terrienne utile

$G_{ESw}(\varphi)$ : gain de l'antenne de la station terrienne utile à  $\varphi^\circ$ .

Lorsque l'on a des porteuses identiques pour la liaison montante et la liaison descendante, et dans le cas de répéteurs avec régénération, ces deux équations suffisent. Pour des répéteurs transparents, il faut en outre disposer du  $C/I$  de la liaison intégrale, que permet de calculer l'équation suivante:

$$(C/I)_{tot}^{-1} = (C/I)_U^{-1} + (C/I)_D^{-1} \quad (23)$$

### 3.4 Rapports de protection

Les rapports de protection utilisés dans notre analyse pour chaque combinaison de porteuse utile et de porteuse brouilleuse sont indiqués au Tableau 2. Le programme informatique, à partir d'un ensemble de règles relativement simples, donne des estimations de la valeur minimale acceptable du  $C/I$  d'un seul signal qui entraînerait une dégradation du signal utile ne dépassant pas le niveau considéré comme acceptable dans le cas considéré. Cette hypothèse de travail repose sur un certain nombre d'éléments:

- le  $C/N$  recherché pour la porteuse utile;
- le brouillage acceptable en bande de base (signal unique) pour la porteuse utile;
- les largeurs de bande occupées par la porteuse utile et par la porteuse brouilleuse;
- le spectre modulé de la porteuse utile et de la porteuse brouilleuse.

Notons que l'on a supposé, au § 2.1.1, que la valeur de référence de la réduction de la capacité théorique d'un système AMRC, permettant de tenir compte des valeurs acceptables de brouillage extérieur et de bruit thermique, est de 10% (dont 7,5% de marge pour le bruit thermique et 2,5% pour les brouillages externes). En conséquence, pour une porteuse AMRC utile, on peut calculer le rapport de protection en considérant la totalité du bloc AMRC comme une seule porteuse MDP et en ajoutant 4,8 dB (soit  $10 \log_{10} (7,5\%/2,5\%)$ ) au  $C/N$  global et en tenant compte d'un facteur de largeur de bande.

### 3.5 Calcul de l'espacement angulaire des satellites

On a établi un programme informatique permettant d'évaluer l'espacement minimal requis entre les diverses combinaisons des porteuses du Tableau 1. A cette fin, on a calculé le rapport de protection pour chaque combinaison de porteuse utile et de porteuse brouilleuse. On a calculé ensuite la séparation angulaire,  $\phi$ , nécessaire. Lorsque l'on ne pouvait pas garantir une protection suffisante pour la porteuse utile, on calculait l'augmentation de discrimination nécessaire pour obtenir l'espacement recherché. On obtenait alors en sortie les données suivantes:

- les numéros (d'identification) des porteuses utiles et des porteuses brouilleuses;
- le rapport de protection nécessaire;
- soit l'espacement des satellites,  $\phi$ , soit l'augmentation de discrimination nécessaire pour obtenir l'espacement;
- le rendement spectral par degré d'espacement sur l'arc orbital. On obtient ce paramètre en multipliant le nombre d'utilisateurs simultanés de la largeur de bande considérée par le débit binaire sur le canal et en divisant le résultat obtenu par la largeur de bande du canal et l'espacement orbital requis.

Notons que, dans le calcul du rendement spectral par degré d'espacement sur l'arc orbital, on supposait qu'aucune limite de largeur de bande ou de puissance n'était imposée au système.

Notons encore que l'angle  $\phi$  est en fait un angle topocentrique (angle entre satellites adjacents vus d'une station terrienne en un point de la surface de la Terre). Bien évidemment, la séparation angulaire effectivement requise est donnée par l'angle géocentrique,  $\theta$ , et, lorsque l'on considère des satellites géostationnaires, on démontre que pour un angle topocentrique,  $\phi$ , donné, l'angle géocentrique varie de:

$$\theta = \phi - 2 \sin^{-1} [0,1512 \sin(\phi/2)] \quad (\text{à l'équateur}) \quad (24)$$

à  $\theta \approx \phi$  (aux latitudes élevées).

Toutefois, à la limite du cas défavorable, on a  $\theta = \phi$ , qui représente le cas considéré ici.

Notons enfin que dans les régions où l'angle topocentrique a la plus faible valeur, compte tenu de la discrimination minimale de l'antenne de la station terrienne, le trajet de brouillage atteint sa valeur maximale, de sorte que les deux effets tendent à s'annuler mutuellement. Il en résulte que l'on peut obtenir une bonne approximation en ignorant le fait que toutes les stations d'un système ne sont pas situées au même lieu géographique.

## 4 Résultats

Considérons le Tableau 1. Les porteuses 21 à 26 incluses, 55 à 58 incluses et 80 à 85 incluses sont des porteuses SMS AMRF. Les porteuses 30 à 33 incluses et 59 à 62 incluses sont des blocs AMRC de porteuses SMS à étalement de spectre. Toutes les autres porteuses de ce Tableau, à l'exception des porteuses 15 à 18 incluses, qui sont des blocs AMRC de porteuses SFS à étalement de spectre, sont des porteuses SFS AMRF.

Le Tableau 2 indique les rapports de protection (dB) requis pour telle ou telle combinaison de porteuse utile et de porteuse brouilleuse. Le Tableau 3 spécifie, dans le cas de systèmes à satellites à couverture identique, les espacements (angulaires) requis pour assurer le respect des rapports de protection applicables à ces combinaisons de porteuse utile et de porteuse brouilleuse. Lorsqu'un chiffre est entre parenthèses, il est impossible d'obtenir le rapport de protection nécessaire, quel que soit l'espacement considéré. Le chiffre entre parenthèses correspond en l'occurrence à l'augmentation de discrimination (dB) requise pour obtenir le rapport de protection correspondant. Le Tableau 4 indique le rendement spectral de modulation de la porteuse utile par degré d'espacement sur l'arc orbital (exprimé en bit/s/Hz/deg) obtenu avec la valeur d'espacement

correspondant à la combinaison de porteuse utile et de porteuse brouilleuse considérée. On calcule cette valeur en divisant le rendement spectral de modulation de la porteuse utile (que l'on obtient en divisant le débit binaire du canal par la largeur de bande de ce canal) par l'espacement obtenu pour la combinaison de porteuse utile et de porteuse brouilleuse considérée et en multipliant ce résultat par le nombre maximal d'accès simultanés correspondant à la largeur de bande du canal de la porteuse utile (égale à 1 pour toutes les méthodes d'accès à l'exception de l'accès multiple par différence de code, et calculée à partir de l'équation (15) pour cette dernière méthode, compte tenu des valeurs de référence – brouillage et bruit thermique). Un «0» indique que le rapport de protection recherché n'a pas été obtenu et qu'il n'existe en conséquence aucune valeur angulaire d'espacement des satellites. Un «-1» entre parenthèses indique qu'un espacement de  $0^\circ$  a été obtenu (le rendement spectral de modulation par degré d'arc orbital est alors infini).

Considérons, par exemple, un satellite utile offrant un bloc de porteuses SMS AMRC à 5 MHz (porteuse 30) et couvrant la même zone qu'un satellite brouilleur assurant une liaison à 64 kbit/s entre microstations (porteuse 40). On peut faire les observations suivantes:

- un rapport de protection de 26,8 dB est requis;
- un espacement angulaire des satellites de  $2,2^\circ$  est nécessaire pour obtenir ce rapport de protection;
- pour la porteuse utile, avec cette valeur angulaire d'espacement, on obtient un rendement spectral de modulation, par degré d'arc orbital, de 0,197 bit/s/Hz/degré.

A considérer les Tableaux 3 et 4, on peut faire les constatations suivantes:

a) Les espacements des satellites, dans le cas de combinaisons SFS AMRF-SFS AMRF, ne sont pas très importants; la majorité des valeurs d'espacement sont bien inférieures à  $10^\circ$  et leur ordre de grandeur donne à penser que, avec des techniques de coordination (par exemple, entrelacement des porteuses ou fractionnement du spectre) on pourrait parvenir à des espacements de  $3^\circ$ . Les espacements des satellites dans le cas de combinaisons du SFS, lorsque l'on envisage d'utiliser l'AMRC sur l'une des deux porteuses, ou sur les deux porteuses à la fois, sont également relativement modestes et donnent en général des rendements spectraux par degré d'arc orbital analogues aux valeurs obtenues avec des combinaisons intégralement SFS AMRF.

b) Les espacements de satellites, dans le cas de porteuses du SFS occasionnant des brouillages à des porteuses du SMS, présentent des valeurs analogues ou légèrement supérieures à celles relevées dans le cas a), ce qui donne à penser qu'avec une coordination, on pourrait probablement les ramener à des valeurs utilisables. D'autant que les espacements de satellites sont en général plus réduits lorsque l'on fait intervenir l'AMRC plutôt que l'AMRF dans le cas des porteuses du SMS. Comme on peut s'y attendre, les valeurs de rendement spectral par degré d'arc orbital sont inférieures aux valeurs mesurées dans le cas a). Toutefois, que l'on utilise les porteuses SMS AMRF ou SMS AMRC, les valeurs obtenues sont analogues.

c) Dans le cas de brouillages occasionnés par des porteuses du SMS à des porteuses du SFS, les valeurs d'espacement des satellites sont en général relativement importantes et la coordination semble assez difficile. L'utilisation de systèmes AMRC plutôt qu'AMRF pour les porteuses du SMS permet en général de réduire ces espacements, qui demeurent pourtant relativement larges. Toutefois, on pourrait envisager d'accepter une certaine réduction de la capacité des blocs AMRC pour réduire les valeurs d'espacement. Le recours à la technologie de l'AMRC pour l'ensemble des porteuses SMS et SFS permet de ramener les valeurs d'espacement à des niveaux auxquels la coordination peut donner des solutions utilisables. Comme on pouvait s'y attendre, le rendement spectral par degré d'arc orbital est inférieur aux résultats obtenus dans le cas a). Toutefois, les porteuses SMS AMRC (notamment les numéros 30 à 33 inclus) présentent généralement des valeurs de rendement spectral par degré d'arc orbital supérieures aux valeurs observées avec des porteuses AMRF.

d) Dans le cas des configurations SMS-SMS, on observe en général soit des espacements importants soit la nécessité d'accroître la discrimination pour obtenir le rapport de protection requis. En l'occurrence, des exercices de coordination ne permettraient probablement pas d'obtenir des résultats satisfaisants. Toutefois, il y a lieu de noter que les systèmes à accès multiple par différence de code permettent généralement de réduire les espacements (particulièrement lorsqu'ils sont utilisés aussi bien sur les porteuses utiles que sur les porteuses brouilleuses du SMS). Par ailleurs, on pourrait aussi envisager d'accepter une diminution de la capacité pour réduire les espacements, avec un système AMRC, afin de parvenir à une coordination acceptable. Notons également qu'avec des systèmes AMRC, les rendements spectraux par degré d'arc orbital sont souvent meilleurs qu'avec des techniques AMRF, ce qui démontre l'utilité de l'AMRC dans des conditions de partage, surtout lorsque l'on considère qu'il est facile d'accepter une réduction de la capacité pour parvenir à réduire les espacements (sans modifier aucun autre paramètre du système).

NOTE 1 – Le recours à la technologie AMRC réduit le rendement spectral (bit/s/Hz) d'une liaison par rapport aux valeurs obtenues avec un système AMRF ou AMRT. Toutefois, lorsque la technologie AMRC est utilisée soit pour la porteuse utile soit pour la porteuse brouilleuse ou (surtout) pour l'une et l'autre porteuse, le rendement spectral de modulation par degré d'arc orbital (bit/s/Hz/deg) est généralement aussi bon, et souvent meilleur, qu'avec les technologies AMRF ou AMRT.

## 5 Conclusions

Dans les bandes 30/20 GHz, les angles de séparation géocentrique minimaux pour un partage satisfaisant entre deux satellites du SFS sont généralement beaucoup plus petits que dans le cas de configurations faisant intervenir deux satellites du SMS. L'angle de partage entre un satellite du SFS et un satellite du SMS est en général déterminé en fonction de la protection requise pour les porteuses du SMS.

Un partage de mêmes fréquences entre réseaux du SFS à couverture identique pour des espacements de satellite de l'ordre de 3° est envisageable avec les techniques de coordination traditionnelles. Un partage de mêmes fréquences entre satellites du SFS et satellites du SMS à couverture identique, et particulièrement entre satellites du SMS entre eux, entraîne des séparations angulaires plus importantes ou se traduit par des qualités de fonctionnement des liaisons inférieures aux niveaux généralement observés, ou encore par des capacités porteuses inférieures aux valeurs normales.

Lorsqu'il est nécessaire de partager de mêmes fréquences dans le cadre de systèmes à couverture identique avec des porteuses du SMS, il faut parvenir, par un moyen ou par un autre, à réduire les espacements entre satellites. Diverses méthodes doivent alors être envisagées telles qu'AMRC, séparation des fréquences, séparation géographique par voie de faisceaux ponctuels, etc.

Il n'est pas souhaitable de séparer des groupes de fréquences ou de recourir à une séparation géographique. On peut envisager de recourir à des faisceaux ponctuels entrelacés, mais probablement au prix de scénarios de partage complexes.

On peut assez facilement envisager un compromis entre une réduction de la capacité d'un système AMRC, sans modification des autres paramètres du réseau, et une augmentation des brouillages externes tolérables. En effet, dans un système AMRC, une réduction de la capacité se traduit également par une réduction des brouillages. Dans la présente étude, nous avons observé, d'une manière générale, que les systèmes AMRC offrent, par degré d'arc orbital, des rendements spectraux supérieurs à des systèmes AMRF analogues, même si la capacité par satellite est plus élevée dans ce dernier cas. Toutefois, la capacité d'un système AMRC dépend fortement de l'erreur de commande de puissance à l'entrée du récepteur. En conséquence, la question de savoir si un système AMRC utilisé pour des communications par émetteurs-récepteurs portatifs représente une solution économiquement viable dépendra de la précision et du coût des systèmes de commande de puissance, ces deux éléments étant absolument liés.

## APPENDICE 1

## À L'ANNEXE 1

**1 Diagrammes d'antenne**

Pour calculer le rapport  $D/\lambda$ , on peut utiliser l'équation suivante (le rendement de l'antenne étant de 70% par hypothèse):

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{10^{0,1G_{max}}}{0,7}} \quad (25)$$

**2 Diagrammes d'antenne utilisés par le Royaume-Uni**

Diagramme d'antenne de station terrienne fixe (selon l'Appendice S8 du RR):

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi\right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda}\right) & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{pour } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (26)$$

Diagramme d'antenne de station terrienne mobile:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi\right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda}\right) & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 52 - 10 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda}\right) - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < \varphi_1 \\ 0 & \text{pour } \varphi_1 \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (27)$$

où:

$$\begin{aligned} \varphi_m &= \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - 2 - 15 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda}\right)} \\ \varphi_r &= 15,85 \left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0,6} \\ \varphi_1 &= 120 \left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0,4} \end{aligned} \quad (28)$$

### 3 Diagrammes d'antenne utilisés par le Canada

Diagramme d'antenne de station terrienne fixe:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} & \text{pour } 0 < \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 29 - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{pour } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (29)$$

Diagramme d'antenne de station terrienne mobile:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} & \text{pour } 0 < \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 49 - 10 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \\ 7 - 10 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) & \text{pour } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (30)$$

### 4 Diagrammes d'antenne «INTELSAT»

Diagramme d'antenne de station terrienne fixe:

– on a utilisé le diagramme d'antenne fixe du Royaume-Uni.

Diagramme d'antenne de station terrienne mobile émettrice:

$$G(\varphi) = \begin{cases} 24,5 & \text{pour } 0 < \varphi < 4,17^\circ \\ 40 - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } 4,17^\circ \leq \varphi < 39,8^\circ \\ 0 & \text{pour } 39,8^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (31)$$

Diagramme d'antenne de station terrienne mobile réceptrice:

$$G(\varphi) = \begin{cases} 23,0 & \text{pour } 0 < \varphi < 6,03^\circ \\ 43 - 25 \log_{10} \varphi & \text{pour } 6,03^\circ \leq \varphi < 52,5^\circ \\ 0 & \text{pour } 52,5^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (32)$$

## 5 Tableau des résultats

TABLEAU 1  
Caractéristiques des porteuses dans les bandes 30/20 GHz

N° de porteuse	Nombre de porteuses simultanées	Débit binaire de canal d'une porteuse (kbit/s)	Largeur de bande de bruit (kHz)	Largeur de bande de canal (kHz)	C/N (dB)	Satellite		Station terrienne						Description des porteuses
						p.i.r.e. max (dBW)	p.i.r.e. min (dBW)	p.i.r.e. max (dBW)	p.i.r.e. min (dBW)	Gain à l'émission (dBi)	Diagramme d'antenne d'émission	Gain à la réception (dBi)	Diagramme d'antenne de réception	
8	1	120 000	66 000	72 000	13,2	64,6	62,3	87,4	84,4	62,3	UK Fix	60,2	UK Fix	UK SFS 120 Mbit/s AMRT MDP-4
9	1	128	85	112,5	6,8	31,7	19,6	54,5	37,3	57,2	UK Fix	55,1	UK Fix	UK SFS 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
10	1	4 096	2 700	3173	6,8	46,8	34,6	69,6	52,4	57,2	UK Fix	55,1	UK Fix	UK SFS 2 048 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
15	134	10	5 000	5 500	7,7	53,8	43,8	69	59	60	UK Fix	41,3	UK Fix	UK SFS (H->V) 5 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
16	134	10	5 000	5 500	7,7	43,8	33,8	59,5	49,5	43,4	UK Fix	57,8	UK Fix	UK SFS (V->H) 5 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
17	134	100	50 000	55 000	7,7	63,8	53,8	79	69	60	UK Fix	41,3	UK Fix	UK SFS (H->V) 50 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
18	134	100	50 000	55 000	7,7	53,8	43,8	69,5	59,5	43,4	UK Fix	57,8	UK Fix	UK SFS (V->H) 50 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
21	1	24	14,4	20	4,3	40,6	32,1	76,9	68,3	54	UK Fix	28	UK Mob	UK SFS->SMS Inm-B 24 kbit/s Glob AMRF
22	1	24	14,4	20	3,6	28,4	15,5	30,2	24,2	31,5	UK Mob	50,5	UK Fix	UK SMS->SFS Inm-B 24 kbit/s Spot AMRF
25	1	8	4,8	10	4,2	39,6	31,1	79,9	71,3	54	UK Fix	23	UK Mob	UK SFS->SMS Inm-M 8 kbit/s Glob AMRF
26	1	8	4,8	10	3,4	26,3	9,5	25,1	20,1	27,5	UK Mob	50,5	UK Fix	UK SMS->SFS Inm-M 8 kbit/s Spot AMRF
30	226	9,6	4 800	5 000	7,9	71,1	65,1	52,3	46,3	53,5	UK Fix	19	UK Mob	UK SFS->SMS 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
31	226	9,6	4 800	5 000	7,9	42,2	36,2	43,2	37,2	23	UK Mob	50	UK Fix	UK SMS->SFS 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
32	226	96	48 000	50 000	7,9	68,5	62,5	62,3	56,3	53,5	UK Fix	29	UK Mob	UK SFS->SMS 48 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
33	226	96	48 000	50 000	7,9	52,2	46,2	51,2	45,2	32,5	UK Mob	50	UK Fix	UK SMS->SFS 48 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-4
40	1	128	153,6	179,2	5,1	27,5	21,5	40,5	34,5	45,5	UK Fix	42,1	UK Fix	CODE (V->V) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
41	1	4 096	2 460	3 240	10,8	42,5	36,5	74,9	68,9	53,8	UK Fix	42,1	UK Fix	CODE (H->V) 2 048 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
42	1	128	153,6	179,2	6	27,5	21,5	41,5	35,5	45,5	UK Fix	50,9	UK Fix	CODE (V->H) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
43	1	3 000	2 180	2 520	11,7	34,6	28,6	66,5	60,5	53,5	UK Fix	50	UK Fix	ACTS (V->V) 1,5 Mbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4

TABLEAU 1 (suite)

N° de porteuse	Nombre de porteuses simultanées	Débit binaire de canal d'une porteuse (kbit/s)	Largeur de bande de bruit (kHz)	Largeur de bande de canal (kHz)	C/N (dB)	Satellite		Station terrienne						Description des porteuses
						p.i.r.e. max (dBW)	p.i.r.e. min (dBW)	p.i.r.e. max (dBW)	p.i.r.e. min (dBW)	Gain à l'émission (dBi)	Diagramme d'antenne d'émission	Gain à la réception (dBi)	Diagramme d'antenne de réception	
50	1	128	76,8	89,6	10	23,9	17,9	50,8	44,8	63	UK Fix	59,7	UK Fix	INTELSAT M3QL (K3->K3) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
51	1	128	76,8	89,6	13,4	29,9	23,9	56,8	50,8	56	UK Fix	51,7	UK Fix	INTELSAT M2QL (K2->K2) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
52	1	128	153,6	179,2	11,9	35,6	29,6	62,5	56,5	50	UK Fix	46,5	UK Fix	INTELSAT M1BL (K1->K1) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
53	1	128	153,6	179,2	16,2	35,6	29,6	62,5	56,5	63	UK Fix	51,7	UK Fix	INTELSAT S32BH (K3->K2) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
54	1	128	153,6	179,2	17,9	41,5	35,5	68,4	62,4	50	UK Fix	46,5	UK Fix	INTELSAT M1BH (K1->K1) 64 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
55	1	9,6	11,5	13,4	4,4	11,7	5,7	23,6	17,6	24,5	Intelsat Mob	59,7	UK Fix	INTELSAT F3I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
56	1	9,6	11,5	13,4	4,4	13,6	7,6	25,5	19,5	24,5	Intelsat Mob	51,7	UK Fix	INTELSAT F2I (MT->K2) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
57	1	9,6	11,5	13,4	4,4	40	34	66,9	60,9	63	UK Fix	23	Intelsat Mob	INTELSAT F3O (K3->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
58	1	9,6	11,5	13,4	4,4	40	34	66,9	60,9	56	UK Fix	23	Intelsat Mob	INTELSAT F2O (K2->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
59	652	9,6	7 617	8 064	4,4	42,7	36,7	54,6	48,6	24,5	Intelsat Mob	59,7	UK Fix	INTELSAT C3I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-2
60	652	9,6	7 617	8 064	4,4	43,2	37,2	55,1	49,1	24,5	Intelsat Mob	51,7	UK Fix	INTELSAT C2I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-2
61	652	9,6	7 617	8 064	4,4	68,3	62,3	95,2	89,2	63	UK Fix	23	Intelsat Mob	INTELSAT C3O (K3->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-2
62	652	9,6	7 617	8 064	4,4	68,3	62,3	95,2	89,2	56	UK Fix	23	Intelsat Mob	INTELSAT C2O (K2->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 CED AMRC MDP-2
80	1	5,2	6,2	12,4	6,2	43,3	37,3	57,7	51,7	49,7	Canada Fix	18,9	Canada Mob	CANADA (MUMM->SUR) 2,4 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-2
81	1	5,2	6,2	12,4	2,7	18,5	12,5	22,9	16,9	20,8	Canada Mob	46,2	Canada Fix	CANADA (SUR->MUMM) 2,4 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
82	1	472	283	300	9,7	53,9	47,9	77,6	71,6	49,7	Canada Fix	30,2	Canada Mob	CANADA (MUMM->MMM) 144 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
83	1	472	283	300	11	44	38	45,7	39,7	33,7	Canada Mob	46,2	Canada Fix	CANADA (MMM->MUMM) 144 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
84	1	733,2	440	500	8,3	47,8	41,8	78,1	72,1	49,7	Canada Fix	33,7	Canada Mob	CANADA (MUMM->FMM) 256 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
85	1	733,2	440	500	9,6	44,5	38,5	43,2	37,2	37,3	Canada Mob	46,2	Canada Fix	CANADA (FMM->MUMM) 256 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4
86	1	3 740	2 244	2 594	12,2	52,3	46,3	76,7	70,7	49,7	Canada Fix	46,2	Canada Fix	CANADA (MUMM->MUMM) 1,544 kbit/s + 1/2 CED AMRF MDP-4

**TABLEAU 2**  
**Rapports de protection nécessaire**

Porteuse utile	Porteuse brouilleuse																		
	8	9	10	15	16	17	18	21	22	25	26	30	31	32	33	40	41	42	43
8	25,4	50,1	38,4	30,2	30,2	25,4	25,4	00,0	00,0	03,0	03,0	30,5	30,5	25,4	25,4	51,1	38,4	61,1	39,5
9	-9,9	19,0	4,0	1,3	1,3	-8,7	-8,7	25,0	25,0	20,0	28,0	1,5	1,5	-0,5	-0,5	10,4	4,4	10,4	4,9
10	5,1	32,0	19,0	10,3	10,3	0,3	0,3	40,3	40,3	43,3	43,3	16,5	16,5	0,6	0,6	30,8	19,0	30,8	19,0
15	1,3	28,0	12,5	12,5	12,6	2,6	2,5	30,5	30,5	39,5	39,5	12,5	12,6	2,7	2,7	20,8	12,8	20,8	12,5
16	1,3	20,9	12,5	12,5	12,5	2,5	2,6	30,5	30,5	38,5	38,5	12,5	12,5	2,7	2,7	20,8	12,8	20,8	12,5
17	11,3	30,0	24,3	22,0	22,0	12,6	12,5	40,6	40,5	48,5	48,5	22,5	22,5	12,5	12,5	37,0	24,3	37,0	25,3
18	11,3	30,0	24,3	22,9	22,0	12,5	12,6	40,5	40,5	49,6	49,6	22,6	22,5	12,5	12,5	37,0	24,3	37,0	26,3
21	-20,1	8,8	-0,2	-8,8	-0,9	-18,9	-10,0	10,5	10,5	10,8	10,8	-8,7	-8,7	-18,7	-18,7	0,2	-6,8	0,2	-5,3
22	-20,8	8,1	-0,9	-9,0	-9,0	-19,0	-19,0	15,0	15,8	15,0	15,0	-9,4	-9,4	-19,4	-19,4	5,8	-0,5	5,5	0,0
25	-25,0	3,9	-11,1	-13,8	-13,8	-23,8	-23,8	11,0	11,0	10,4	10,4	-13,0	-13,0	-23,0	-23,0	1,3	-10,8	1,3	-10,2
26	-25,8	3,1	-11,9	-14,0	-14,0	-24,0	-24,0	10,8	10,8	15,0	15,0	-14,4	-14,4	-24,4	-24,4	0,5	-11,5	0,5	-11,0
30	1,3	28,9	12,7	12,5	12,5	2,6	2,6	30,6	30,5	39,5	39,6	12,7	12,7	2,7	2,7	20,8	12,7	20,8	12,7
31	1,3	28,9	12,7	12,6	12,6	2,6	2,6	30,6	30,5	39,5	39,6	12,7	12,7	2,7	2,7	20,8	12,7	20,8	12,7
32	11,3	39,0	24,5	21,7	21,7	12,6	12,6	40,6	40,5	49,5	49,5	22,2	22,2	12,7	12,7	37,0	24,2	37,0	25,6
33	11,3	39,0	24,5	21,7	21,7	12,6	12,6	40,6	40,5	49,6	40,5	22,2	22,2	12,7	12,7	37,0	24,2	37,0	26,6
40	-9,0	17,3	4,9	2,2	2,2	-7,8	-7,8	26,0	25,0	20,1	20,1	2,4	2,4	-7,0	-7,0	17,3	6,9	17,3	6,8
41	8,7	30,2	22,0	18,8	18,8	8,8	8,8	43,9	43,9	40,9	40,9	20,1	20,1	10,1	10,1	34,1	23,0	34,1	23,0
42	-8,1	18,2	5,8	3,1	3,1	-0,9	-0,9	20,7	20,7	30,0	30,0	3,3	3,3	-0,7	-0,7	18,2	0,2	18,2	0,7
43	9,1	30,7	23,0	20,3	20,3	10,3	10,3	44,3	44,3	47,3	47,3	20,5	20,5	10,6	10,6	34,7	23,4	34,7	23,9
50	-7,1	21,8	0,7	4,1	4,1	-5,9	-5,9	27,0	27,0	30,7	30,7	4,2	4,2	-6,8	-6,8	19,2	7,1	19,2	7,7
51	-3,7	28,2	10,1	7,6	7,6	-2,8	-2,8	30,4	30,4	34,1	34,1	7,0	7,0	-2,4	-2,4	22,0	10,0	22,0	11,1
52	-2,2	24,1	11,7	9,0	9,0	-1,0	-1,0	32,0	32,0	35,9	35,9	9,2	8,2	-0,8	-0,8	24,1	12,1	23,1	12,0
53	2,1	20,4	10,0	13,3	13,3	3,3	3,3	30,0	30,0	40,2	40,2	13,5	13,5	3,5	3,5	20,4	10,4	20,4	10,9
54	3,0	30,1	17,7	15,0	16,0	5,0	6,0	38,0	38,0	41,9	41,9	15,2	15,2	5,2	5,2	30,1	18,1	30,1	18,0
55	-21,0	7,9	-7,1	-9,8	-9,8	-19,8	-19,8	15,0	15,0	10,0	10,0	-9,0	-9,0	-19,0	-19,0	5,3	-0,7	5,3	-0,2
56	-21,0	7,9	-7,1	-9,8	-9,8	-19,8	-19,8	15,0	15,0	10,0	10,0	-9,0	-9,0	-19,0	-19,0	6,3	-0,7	5,3	-0,2
57	-21,0	7,9	-7,1	-9,8	-9,8	-19,8	-19,8	15,0	15,0	10,0	10,0	-9,0	-9,0	-19,0	-19,0	5,3	-0,7	5,3	-0,2
58	-21,0	7,9	-7,1	-9,8	-9,8	-19,8	-19,8	15,0	15,0	10,0	10,0	-9,0	-9,0	-19,0	-19,0	6,3	-0,7	5,3	-0,2
59	-0,2	27,5	12,2	9,2	9,2	1,0	1,0	35,0	35,0	38,0	38,0	9,2	9,2	1,2	1,2	25,4	12,2	25,4	14,0
60	-0,2	27,5	12,2	9,2	9,2	1,0	1,0	35,0	35,0	38,0	38,0	9,2	9,2	1,2	1,2	25,4	12,2	25,4	14,0
61	-0,2	27,5	12,2	9,2	9,2	1,0	1,0	35,0	35,0	38,0	38,0	9,2	9,2	1,2	1,2	25,4	12,2	25,4	14,0
62	-0,2	27,5	12,2	9,2	9,2	1,0	1,0	35,0	35,0	38,0	38,0	9,2	9,2	1,2	1,2	25,4	12,2	25,4	14,0
80	-21,9	7,0	-0,0	-10,7	-10,7	-20,7	-20,7	14,7	14,7	28,4	18,4	-10,5	-10,5	-20,5	-20,5	4,5	-7,0	4,5	-7,1
81	-25,4	3,5	-11,5	-14,2	-14,2	-24,2	-24,2	11,2	11,2	14,8	14,8	-14,0	-14,0	-24,0	-24,0	1,0	-11,1	1,0	-10,0
82	-1,8	24,9	12,1	9,4	9,4	-0,8	-0,8	33,4	33,4	30,4	30,4	9,0	0,0	-0,4	-0,4	21,8	12,5	21,9	13,0
83	-0,5	20,2	13,4	10,7	10,7	0,7	0,7	34,7	34,7	37,7	37,7	10,9	10,9	0,8	0,8	23,2	13,8	23,2	14,8
84	-1,2	25,3	12,0	9,9	9,9	-0,1	-0,1	33,9	33,9	30,9	30,9	10,1	10,1	0,1	0,1	23,5	13,0	23,5	13,5
85	0,0	20,0	13,9	11,2	11,2	1,2	1,2	36,2	35,2	38,2	38,2	11,4	11,4	1,4	1,4	24,8	14,3	24,8	14,8
86	9,7	37,2	23,0	20,9	20,9	10,9	10,9	44,9	44,9	47,9	47,9	21,1	21,1	11,1	11,1	35,2	24,0	35,2	24,4

TABLEAU 2 (suite)

Porteuse utile	Porteuse brouilleuse																			
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	80	81	82	83	84	85	86
8	54,1	54,1	51,1	61,1	51,1	62,3	62,3	62,3	62,3	34,4	34,4	34,4	34,4	62,7	62,7	48,8	48,8	40,0	40,0	39,4
9	19,0	19,0	10,4	10,4	10,4	20,8	20,8	20,8	20,8	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	20,8	20,8	13,8	13,8	11,9	11,9	4,8
10	32,8	33,8	30,8	30,8	30,8	42,0	42,0	42,0	42,0	14,5	14,5	14,5	14,5	42,4	42,4	28,5	28,5	20,0	20,0	19,0
15	20,8	29,9	20,8	20,8	20,8	30,2	30,2	30,2	30,2	10,7	10,7	10,7	10,7	30,0	30,0	24,5	24,5	22,5	22,5	12,5
16	29,9	29,9	20,8	20,8	20,8	30,2	30,2	30,2	30,2	10,7	10,7	10,7	10,7	30,0	30,0	24,5	24,5	22,5	22,5	12,5
17	40,0	40,0	37,0	37,0	37,0	40,2	40,2	40,2	40,2	20,3	20,3	20,3	20,3	48,0	48,0	34,7	34,7	32,5	32,5	25,3
18	40,0	40,0	37,0	37,0	37,0	40,2	40,2	40,2	40,2	20,3	20,3	20,3	20,3	48,0	48,0	34,7	34,7	32,5	32,5	25,3
21	9,2	9,2	0,2	0,2	0,2	10,5	10,5	10,5	10,5	-10,7	-10,7	-10,7	-10,7	10,5	10,5	3,0	3,0	1,0	1,0	-5,4
22	8,6	8,5	5,5	5,5	5,5	15,0	15,0	15,0	15,0	-11,4	-11,4	-11,4	-11,4	15,0	16,8	2,9	2,9	0,9	0,9	-0,1
25	4,4	4,4	1,3	1,3	1,3	12,0	12,0	12,0	12,0	-15,0	-15,0	-15,0	-15,0	15,3	15,3	-1,3	-1,3	-3,2	-3,2	-10,3
26	3,0	3,0	0,5	0,5	0,5	11,8	11,8	11,8	11,8	-10,4	-10,4	-10,4	-10,4	14,5	14,5	-2,1	-2,1	-4,0	-4,0	-11,1
30	29,8	29,9	20,8	20,8	20,8	30,2	30,2	30,2	30,2	10,7	10,7	10,7	10,7	38,0	38,0	24,7	24,7	22,2	22,2	12,7
31	29,8	29,9	20,8	20,8	20,8	30,2	30,2	30,2	30,2	10,7	10,7	10,7	10,7	38,0	38,0	24,7	24,7	22,2	22,2	12,7
32	40,0	40,0	37,0	37,0	37,0	40,2	40,2	40,2	40,2	10,7	10,7	10,7	10,7	48,0	48,0	34,7	34,7	32,5	32,5	25,3
33	40,0	40,0	37,0	37,0	37,0	40,2	40,2	40,2	40,2	10,7	10,7	10,7	10,7	48,0	48,0	34,7	34,7	32,5	32,5	25,3
40	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	27,7	27,7	27,7	27,7	0,3	0,3	0,3	0,3	28,1	28,1	14,0	14,0	12,7	12,7	6,7
41	37,3	37,3	34,1	34,1	34,1	45,0	45,0	45,0	45,0	10,1	10,1	10,1	10,1	40,0	40,0	32,0	32,0	28,0	28,0	23,0
42	18,2	18,2	10,2	18,2	10,2	20,0	20,0	20,0	20,0	1,2	1,2	1,2	1,2	29,0	29,0	15,5	15,5	13,0	13,0	0,0
45	37,7	37,7	34,7	34,7	34,7	40,0	40,0	40,0	40,0	18,5	18,5	18,5	18,5	40,3	40,3	32,4	32,4	29,9	29,9	23,8
50	22,2	22,2	18,2	18,2	18,2	28,2	28,2	28,2	28,2	2,2	2,2	2,2	2,2	30,0	30,0	10,6	10,6	14,0	14,0	7,6
51	25,0	26,0	22,0	22,0	22,0	32,0	32,0	32,0	32,0	5,0	6,0	6,0	5,0	33,4	33,4	19,9	19,9	18,0	18,0	10,9
52	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	34,6	34,6	34,6	34,6	7,1	7,1	7,1	7,1	34,9	34,9	21,4	21,4	19,5	19,5	12,5
53	28,4	28,4	20,4	20,4	20,4	30,0	30,0	30,0	30,0	11,4	11,4	11,4	11,4	39,2	39,2	25,7	25,7	23,0	23,0	10,0
54	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	40,5	40,5	40,5	40,5	13,1	13,1	13,1	13,1	40,0	40,0	27,4	27,4	26,5	26,5	18,5
55	8,4	8,4	5,3	5,3	5,3	10,0	10,0	10,0	10,0	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0	10,0	10,0	2,7	2,7	0,8	0,8	-0,3
56	8,4	8,4	5,3	5,3	5,3	10,0	10,0	10,0	10,0	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0	10,0	10,0	2,7	2,7	0,8	0,8	-0,3
57	8,4	8,4	5,3	5,3	5,3	10,0	10,0	10,0	10,0	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0	10,0	10,0	2,7	2,7	0,8	0,8	-0,3
58	8,4	8,4	5,3	5,3	5,3	10,0	10,0	10,0	10,0	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0	10,0	10,0	2,7	2,7	0,8	0,8	-0,3
59	28,5	28,5	25,4	25,4	25,4	30,7	30,7	30,7	30,7	9,2	9,2	9,2	9,2	37,1	37,1	23,2	23,2	21,0	21,0	12,2
60	28,5	28,5	25,4	25,4	25,4	30,7	30,7	30,7	30,7	9,2	9,2	9,2	9,2	37,1	37,1	23,2	23,2	21,0	21,0	12,2
61	28,5	28,5	25,4	25,4	25,4	30,7	30,7	30,7	30,7	9,2	9,2	9,2	9,2	37,1	37,1	23,2	23,2	21,0	21,0	12,2
62	28,5	28,5	25,4	25,4	25,4	30,7	30,7	30,7	30,7	9,2	9,2	9,2	9,2	37,1	37,1	23,2	23,2	21,0	21,0	12,2
80	7,5	7,5	4,5	4,5	4,5	15,7	15,7	15,7	15,7	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5	18,4	18,4	1,0	1,0	-0,1	-0,1	-7,2
81	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0	12,2	12,2	12,2	12,2	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	14,9	14,9	-1,7	-1,7	-3,0	-3,0	-10,7
82	26,7	20,7	21,9	21,9	21,9	35,1	35,1	35,1	35,1	7,0	7,0	7,0	7,0	35,3	35,3	21,0	21,0	20,0	20,0	12,9
83	28,0	20,0	23,2	23,2	23,2	30,4	30,4	30,4	30,4	8,9	8,9	8,9	8,9	30,0	30,0	23,2	23,2	21,3	21,3	14,2
84	20,5	20,6	23,5	23,5	23,5	35,0	35,0	35,0	35,0	0,1	0,1	0,1	0,1	35,0	35,0	20,5	20,5	20,5	20,5	13,4
85	27,8	27,8	24,8	24,8	24,8	30,9	30,9	30,9	30,9	9,4	9,4	9,4	9,4	37,2	37,2	21,8	21,8	21,8	21,8	14,7
86	38,4	38,4	35,2	35,2	35,2	40,0	40,0	40,0	40,0	10,1	10,1	10,1	10,1	47,0	47,0	32,9	32,9	30,4	30,4	24,4

TABLEAU 3  
Angles d'espacement entre satellites

Porteuse utile	Porteuse brouilleuse																		
	8	9	10	15	16	17	18	21	22	25	26	30	31	32	33	40	41	42	43
8	1,2	1,0	1,0	1,1	1,4	1,0	1,4	17,0	4,4	30,0	0,1	4,9	0,0	1,4	0,5	1,0	2,0	1,0	1,1
9	3,7	3,3	3,3	3,4	3,2	3,4	3,2	[-3,7]	15,0	[-9,0]	22,5	16,7	19,2	5,0	3,7	2,0	0,5	2,2	3,3
10	3,7	2,9	3,3	3,4	3,2	3,4	3,2	[-3,0]	10,1	[-9,0]	22,8	15,8	19,1	5,0	3,9 <sup>(1)</sup>	1,9	0,3	2,0	3,0
15	3,4	2,2	1,9	3,4	1,7	3,1	1,7	20,9	4,9	35,2	0,0	10,0	2,5	5,3	1,7	1,7	2,1	1,7	1,4
16	2,8	2,4	2,2	2,3	2,0	2,3	2,0	47,5	14,7	[-8,0]	21,0	9,2	11,3	3,0	3,5	1,0	4,5	1,7	2,1
17	3,4	2,2	2,2	3,3	1,7	3,4	1,7	20,9	4,9	35,2	0,0	10,0	2,5	6,3	1,7	1,7	2,5	1,7	1,0
18	2,0	2,4	2,5	2,2	2,0	2,3	2,9	47,6	14,7	[-8,0]	21,0	9,2	11,3	2,9	3,4	1,0	5,2	1,0	2,8
21	15,3	10,0	10,7	15,9	5,1	16,9	6,1	[-0,1]	15,9	44,5	13,1	[-5,3]	4,4	24,9	4,4	4,5	5,0	4,5	1,0
22	3,7	3,7	3,7	3,1	3,8	3,1	3,8	[-7,5]	22,5	[-10,5]	24,4	12,8	23,5	4,1	4,1	2,3	7,0	2,5	4,0
25	21,4	10,3	10,3	22,2	5,2	22,2	5,2	[-1,1]	22,2	[-4,9]	28,4	[-0,4]	2,7	34,7	2,7	3,3	7,2	3,3	0,0
26	3,7	3,5	3,5	3,2	3,0	3,2	3,0	[-0,7]	20,8	[-14,4]	34,0	14,1	21,7	4,5	4,0	2,2	7,3	2,3	3,7
30	11,8	4,5	3,0	12,2	4,2	12,2	4,2	[-0,6]	22,0	[-12,3]	31,0	[-2,7]	23,0	29,7	4,3	2,2	0,5	2,4	2,9
31	7,4	7,1	0,4	5,2	8,7	5,2	8,7	[-16,2]	[-1,0]	[-21,2]	[-2,0]	15,4	54,6	5,0	12,2	4,7	14,0	6,2	0,7
32	14,8	8,4	8,8	14,2	6,3	15,2	6,0	[-0,8]	22,4	[-12,4]	30,3	[-4,8]	22,0	23,0	0,0	4,5	0,3	4,5	4,4
33	8,8	8,5	9,0	5,6	9,7	6,9	10,6	[-17,2]	[-3,0]	[-23,2]	[-4,0]	14,7	[-0,2]	5,1	14,7	6,7	19,2	0,3	10,3
40	9,5	6,0	7,1	9,0	5,4	9,0	5,4	[-7,6]	22,4	[-13,0]	32,5	47,3	27,0	14,0	0,0	4,0	9,0	4,1	4,8
41	11,8	7,2	8,2	12,2	4,9	12,2	4,9	34,8	11,3	45,2	12,0	[-5,0]	6,1	10,1	4,3	4,1	5,8	4,1	2,9
42	5,3	3,7	4,7	4,8	4,5	4,8	4,8	[-7,1]	21,0	[-13,4]	31,8	22,9	20,7	7,2	4,4	2,8	8,1	3,0	4,5
43	12,2	7,0	8,0	12,0	6,3	12,0	6,3	46,7	14,5	[-7,0]	18,5	[-0,0]	8,8	18,8	4,7	4,3	0,9	4,3	3,5
50	3,3	2,0	2,0	3,2	2,2	3,2	2,2	30,8	9,0	[-4,0]	14,5	18,6	8,8	4,9	2,0	1,6	4,3	1,0	2,2
51	5,0	3,0	3,0	6,2	2,4	6,2	2,4	26,7	0,1	45,7	11,0	25,6	0,7	8,0	2,5	2,0	3,8	2,0	1,9
52	5,8	3,0	3,8	0,0	2,4	6,0	2,4	21,2	0,3	33,9	7,2	28,0	3,1	8,8	2,2	2,1	3,8	2,1	1,7
53	5,1	2,8	3,0	6,2	2,5	6,2	2,6	27,7	0,7	47,4	12,3	25,8	0,0	0,1	2,6	2,0	3,9	2,0	2,0
54	5,5	3,1	3,9	5,7	2,4	6,7	2,4	21,4	0,8	34,3	7,2	20,2	3,1	8,8	2,2	2,1	3,9	2,1	1,7
55	8,9	0,2	0,3	4,2	0,8	4,2	0,8	[-13,9]	40,5	[-17,8]	40,1	13,4	42,6	4,3	9,0	4,0	14,3	4,4	7,1
56	0,1	5,7	8,7	8,3	8,8	8,3	6,8	[-12,1]	34,1	[-10,0]	40,6	23,4	35,7	7,4	0,1	3,5	12,0	3,8	0,0
57	20,2	14,0	14,1	21,0	0,0	21,0	0,0	[-2,2]	0,0	[-2,2]	0,0	[-7,5]	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	0,0	0,3
58	20,2	14,0	14,1	21,0	0,0	21,0	0,0	[-2,2]	0,0	[-2,2]	0,2	[-7,5]	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	0,0	0,3
59	2,3	2,2	2,2	1,4	2,3	1,7	2,7	44,9	13,0	[-8,3]	19,9	4,4	9,8	1,7	3,3	1,6	4,7	1,8	2,7
60	2,7	2,3	2,3	2,0	2,2	2,3	2,0	43,0	13,3	[-7,8]	19,1	0,7	9,4	3,3	3,2	1,5	4,5	1,0	2,5
61	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	34,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
62	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	34,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
80	29,9	28,9	29,9	29,9	1,0	29,0	1,0	[-9,8]	28,8	[-8,8]	29,8	[-8,2]	0,0	34,0	0,0	0,1	29,9	0,3	0,4
81	4,8	4,7	4,7	3,9	4,9	3,9	4,9	[-10,3]	28,0	[-10,9]	43,9	10,5	30,3	5,2	0,8	2,8	10,2	3,2	5,1
82	10,8	8,2	8,2	11,2	8,2	11,2	8,2	30,2	9,9	30,0	10,7	[-1,7]	9,2	17,0	8,2	8,2	8,2	0,2	8,2
83	5,4	4,5	5,0	4,1	5,0	4,1	5,9	[-10,8]	30,0	[-10,9]	43,8	15,0	30,7	5,0	0,3	2,7	12,3	3,0	0,2
84	12,3	0,9	8,0	12,7	5,5	12,7	5,5	34,4	11,2	41,0	12,2	[-3,1]	5,6	10,9	5,6	5,5	0,0	5,5	5,5
85	0,7	5,7	7,2	4,0	7,8	4,0	7,0	[-13,9]	40,5	[-10,9]	[-1,0]	16,7	48,4	5,1	10,9	3,9	10,2	4,9	8,1
86	3,0	2,3	2,6	3,8	1,7	3,0	1,7	16,7	4,5	20,9	5,0	18,0	1,7	5,9	1,5	1,3	2,4	1,3	1,3

TABLEAU 3 (suite)

Porteuse utile	Porteuse brouilleuse																			
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	80	81	82	83	84	85	86
8	0,5	1,4	2,9	1,1	4,9	0,4	7,8	4,4	7,2	8,6	8,9	4,6	7,5	6,4	24,0	9,7	5,5	0,1	3,0	3,7
9	1,5	4,1	9,0	3,4	15,5	18,4	21,9	13,0	20,9	25,8	27,0	14,2	22,0	18,4	31,3	29,4	13,3	26,2	0,0	11,8
10	1,4	4,0	8,4	3,2	14,4	10,0	22,2	13,2	21,7	25,0	20,8	14,2	22,8	19,3	32,7	28,5	12,9	23,1	5,5	10,9
15	1,7	2,2	3,7	2,5	0,3	7,2	8,6	10,0	11,9	8,0	10,3	11,3	12,8	14,8	24,0	13,7	5,9	9,8	3,9	4,1
16	1,2	3,5	7,5	2,5	13,0	17,1	20,4	10,0	18,8	23,5	24,0	11,4	20,2	16,7	30,1	25,3	11,5	21,8	4,8	7,7
17	1,7	2,2	3,8	2,5	0,4	7,2	8,5	10,0	11,9	9,5	10,0	10,9	12,3	14,8	24,0	13,9	0,0	8,8	3,0	5,3
18	1,2	3,5	7,0	2,5	13,1	17,1	20,4	10,0	18,8	22,7	23,8	11,0	19,4	15,7	30,1	25,7	11,7	21,8	4,8	8,9
21	4,3	0,7	12,0	12,0	20,0	0,0	2,2	40,2	40,2	3,0	3,9	[-0,5]	[-0,5]	[-2,7]	6,1	[-0,4]	20,3	24,1	17,6	18,1
22	1,7	5,0	10,9	3,0	18,7	22,3	20,0	13,9	24,5	31,0	33,1	16,3	27,1	20,0	38,1	35,3	10,0	30,7	0,6	14,2
25	1,5	9,3	11,1	11,1	28,7	0,0	0,0	[-1,5]	[-1,5]	0,0	0,0	[-1,0]	[-1,0]	[-7,5]	8,9	[-1,5]	28,3	33,7	24,9	20,0
26	1,0	4,7	10,1	3,5	17,3	22,0	20,9	14,7	25,1	20,1	30,5	14,0	25,3	20,0	[-0,3]	32,8	14,9	28,4	0,4	13,2
30	1,5	8,9	12,4	0,3	23,4	0,0	0,0	68,0	80,8	0,0	0,0	63,2	[-0,8]	[-1,5]	40,8	[-1,5]	21,8	30,4	13,0	14,1
31	3,3	10,0	23,8	7,2	40,1	[-3,1]	[-5,0]	30,7	[-5,0]	[-6,6]	[-7,1]	32,0	[-5,7]	40,0	[-7,9]	[-8,5]	30,0	[-0,4]	14,0	24,1
32	4,1	8,2	13,8	11,0	23,8	23,1	27,6	40,3	[-1,2]	20,0	30,3	45,2	[-1,0]	[-3,8]	40,7	[-2,8]	23,0	34,3	10,8	20,2
33	3,9	12,8	28,3	8,7	[-8,2]	[-5,1]	[-7,0]	30,0	[-7,0]	[-7,0]	[-8,1]	35,0	[-0,7]	[-4,5]	[-9,3]	[-10,5]	43,3	[-8,7]	17,2	30,0
40	2,7	5,0	13,0	7,7	23,3	25,0	30,9	30,0	30,8	30,2	37,9	32,7	40,1	42,0	45,0	40,8	20,0	30,0	12,2	18,5
41	3,9	6,8	8,0	8,5	14,8	0,0	7,2	30,8	30,0	8,3	8,7	39,1	39,3	[-3,7]	24,0	37,8	15,3	10,0	12,0	14,3
42	1,7	4,6	12,5	4,8	21,6	25,7	30,0	18,5	28,4	35,9	37,6	20,1	32,0	27,0	45,9	40,8	18,6	36,1	8,4	16,4
45	4,1	7,2	9,9	0,0	17,1	12,9	15,3	37,0	38,0	17,7	18,5	40,7	41,7	[-4,1]	24,0	41,0	18,8	22,0	13,2	16,8
50	1,3	3,0	0,0	2,8	10,3	11,6	13,7	10,3	14,3	10,7	17,5	11,0	10,2	15,4	24,0	19,9	8,8	10,6	4,6	8,0
51	1,8	3,4	5,0	4,0	9,5	9,1	10,8	14,9	10,4	13,2	18,8	10,0	18,8	21,8	24,0	20,3	8,7	14,1	0,1	7,8
52	1,6	2,0	4,9	4,3	8,4	0,5	7,7	10,7	17,2	0,0	9,4	18,2	17,7	23,4	24,0	19,4	8,0	11,4	0,4	7,4
53	1,4	2,0	5,0	4,0	9,0	9,5	11,4	15,0	17,2	13,3	13,8	17,0	18,0	22,1	24,0	20,0	8,8	14,3	0,2	0,0
54	1,6	2,7	5,0	4,3	8,5	0,9	7,8	10,8	17,4	8,1	9,5	18,3	18,9	23,0	24,0	19,5	8,1	11,6	0,9	7,5
55	2,8	0,8	19,0	0,1	33,0	[-1,1]	[-3,0]	25,0	47,7	[-3,8]	[-4,4]	25,0	[-3,0]	37,2	[-4,9]	[-6,0]	28,8	[-4,0]	11,8	25,5
56	2,0	7,6	10,5	5,7	28,5	37,0	[-1,1]	24,1	41,2	[-2,0]	[-2,5]	24,3	41,5	34,5	[-3,0]	[-4,3]	24,4	40,7	10,0	21,0
57	7,1	12,4	15,8	15,8	27,2	0,0	0,0	[-2,0]	[-2,0]	0,0	0,0	[-2,7]	[-2,7]	[-5,9]	0,0	[-2,0]	0,0	31,9	0,0	25,2
58	7,1	12,4	15,8	15,8	27,2	0,0	0,0	[-2,0]	[-2,0]	0,0	0,0	[-2,7]	[-2,7]	[-5,9]	0,0	[-2,0]	0,0	31,9	0,0	25,2
59	1,0	3,3	7,2	2,3	12,3	10,3	19,4	9,4	17,0	22,3	23,4	10,1	18,9	14,1	28,6	24,1	11,0	20,5	4,4	8,1
60	1,1	3,2	6,9	2,4	11,9	15,5	10,5	10,1	17,3	21,3	22,3	10,9	18,5	14,9	27,3	23,3	10,0	19,6	4,5	7,8
61	0,0	0,0	7,5	7,6	12,8	0,0	0,0	31,5	31,5	0,0	0,0	33,8	33,8	44,0	0,0	32,5	0,0	15,1	0,0	10,2
62	0,0	0,0	7,5	7,5	12,8	0,0	0,0	31,5	31,5	0,0	0,0	33,8	33,8	44,0	0,0	32,5	0,0	15,1	0,0	10,2
80	0,2	29,8	28,8	29,8	28,8	0,0	0,0	[-4,3]	[-4,3]	0,0	0,0	[-4,4]	[-4,4]	[-10,2]	29,9	[-4,3]	29,9	33,0	29,9	29,9
81	2,1	6,4	14,0	4,7	24,1	31,4	37,4	19,0	34,6	[-0,2]	[-0,7]	19,7	34,8	35,9	[-3,9]	45,4	20,0	39,5	8,7	18,3
82	8,2	8,2	8,2	8,2	11,4	8,2	8,2	33,5	33,5	8,2	8,2	30,0	30,0	40,3	8,2	35,7	14,4	17,1	12,6	13,5
83	2,3	7,1	13,3	4,8	22,8	35,8	[-0,7]	21,3	38,8	[-2,3]	[-2,8]	22,8	41,0	31,4	[-2,8]	[-4,5]	24,9	47,8	10,4	22,0
84	5,5	6,5	8,3	8,3	14,3	5,5	6,6	37,7	37,7	5,5	5,5	40,0	40,0	[-1,1]	5,7	33,9	13,7	19,4	14,3	15,3
85	2,7	8,7	19,3	0,0	39,2	[-1,8]	[-3,7]	27,2	[-3,0]	[-5,3]	[-5,8]	29,5	[-4,5]	41,0	[-5,9]	[-5,5]	27,5	[-6,0]	13,6	29,0
86	1,3	2,2	3,3	2,7	5,6	5,8	8,3	11,3	11,9	7,3	7,7	12,1	12,0	15,0	24,0	12,8	5,6	7,7	3,8	5,2

(1) Les nombres négatifs entre crochets indiquent la discrimination supplémentaire requise.

TABLEAU 4  
Efficacités spectrales de la modulation

Efficacité (bit/s/Hz)	Porteuse utile	Efficacité par degré d'espacement angulaire sur l'arc orbital (bit/s/Hz/ degrés)																		
		Porteuse brouilleuse																		
		8	9	10	15	16	17	18	21	22	25	26	30	31	32	33	40	41	42	43
1,007	8	1,309	1,007	1,007	1,516	1,100	1,007	1,190	0,095	0,379	0,054	0,273	0,340	2,778	1,180	3,333	1,007	0,833	1,007	1,515
1,130	9	0,308	0,345	0,345	0,335	0,350	0,335	0,350	[0]	0,022	[0]	0,051	0,072	0,050	0,228	0,308	0,509	0,175	0,517	0,345
1,291	10	0,349	0,445	0,391	0,380	0,403	0,300	0,403	[0]	0,000	[0]	0,056	0,082	0,068	0,258	0,349	0,679	0,205	0,645	0,430
0,244	15	0,072	0,111	0,128	0,072	0,143	0,072	0,143	0,012	0,050	0,007	0,036	0,015	0,097	0,046	0,143	0,143	0,116	0,143	0,174
0,244	16	0,087	0,102	0,111	0,108	0,084	0,100	0,084	0,005	0,017	[0]	0,012	0,020	0,022	0,081	0,070	0,152	0,054	0,143	0,116
0,244	17	0,072	0,111	0,111	0,074	0,143	0,072	0,143	0,012	0,050	0,007	0,036	0,015	0,097	0,046	0,143	0,143	0,097	0,143	0,152
0,244	18	0,087	0,102	0,097	0,111	0,087	0,100	0,084	0,005	0,017	[0]	0,012	0,020	0,022	0,004	0,073	0,152	0,047	0,135	0,087
1,200	21	0,070	0,113	0,112	0,076	0,235	0,075	0,235	[0]	0,075	0,027	0,092	[0]	0,273	0,048	0,273	0,267	0,207	0,207	1,200
1,200	22	0,324	0,324	0,324	0,387	0,316	0,307	0,316	[0]	0,053	[0]	0,049	0,094	0,051	0,283	0,293	0,522	0,152	0,400	0,300
0,800	25	0,037	0,078	0,078	0,036	0,154	0,036	0,154	[0]	0,036	[0]	0,028	[0]	0,296	0,023	0,296	0,242	0,111	0,242	[-1]
0,800	26	0,210	0,229	0,229	0,250	0,222	0,260	0,222	[0]	0,038	[0]	0,023	0,057	0,037	0,178	0,200	0,301	0,110	0,348	0,210
0,434	30	0,037	0,096	0,121	0,036	0,109	0,030	0,103	[0]	0,020	[0]	0,014	[0]	0,018	0,018	0,101	0,197	0,007	0,101	0,150
0,434	31	0,059	0,001	0,000	0,083	0,060	0,083	0,050	[0]	[0]	[0]	[0]	0,028	0,000	0,087	0,086	0,082	0,031	0,083	0,005
0,434	32	0,029	0,052	0,044	0,031	0,082	0,028	0,077	[0]	0,019	[0]	0,014	[0]	0,019	0,018	0,072	0,096	0,052	0,096	0,099
0,434	33	0,040	0,051	0,048	0,079	0,045	0,074	0,041	[0]	[0]	[0]	[0]	0,030	[0]	0,085	0,030	0,070	0,023	0,069	0,042
0,714	40	0,075	0,120	0,101	0,074	0,132	0,074	0,132	[0]	0,032	[0]	0,022	0,015	0,026	0,048	0,100	0,178	0,074	0,174	0,149
1,204	41	0,107	0,176	0,154	0,104	0,268	0,104	0,258	0,036	0,112	0,028	0,089	[0]	0,248	0,000	0,284	0,308	0,214	0,308	0,436
0,714	42	0,135	0,193	0,162	0,146	0,169	0,140	0,150	[0]	0,033	[0]	0,022	0,031	0,027	0,000	0,102	0,255	0,078	0,238	0,168
1,190	43	0,088	0,157	0,138	0,004	0,225	0,004	0,225	0,020	0,002	[0]	0,004	[0]	0,121	0,000	0,263	0,277	0,173	0,277	0,340
1,420	50	0,433	0,540	0,549	0,440	0,040	0,440	0,040	0,149	[0]	0,000	0,082	0,101	0,282	0,649	0,852	0,332	0,893	0,048	
1,429	51	0,200	0,397	0,397	0,276	0,606	0,226	0,696	0,000	0,170	0,031	0,121	0,050	0,213	0,179	0,671	0,714	0,370	0,714	0,752
0,714	52	0,130	0,230	0,100	0,128	0,290	0,128	0,277	0,034	0,113	0,021	0,098	0,020	0,230	0,001	0,325	0,340	0,210	0,340	0,420
0,714	53	0,140	0,240	0,190	0,137	0,200	0,137	0,200	0,020	0,002	0,015	0,050	0,028	0,105	0,000	0,286	0,357	0,183	0,357	0,357
0,714	54	0,130	0,230	0,103	0,125	0,290	0,125	0,200	0,033	0,110	0,021	0,099	0,025	0,230	0,080	0,325	0,340	0,210	0,340	0,420
0,710	55	0,121	0,110	0,114	0,171	0,105	0,171	0,105	[0]	0,010	[0]	0,015	0,053	0,017	0,107	0,076	0,179	0,050	0,183	0,101
0,710	56	0,117	0,120	0,120	0,135	0,124	0,135	0,124	[0]	0,021	[0]	0,018	0,031	0,020	0,097	0,008	0,205	0,000	0,189	0,119
0,710	57	0,035	0,051	0,051	0,034	[-1]	0,034	[-1]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	0,072	[-1]	2,388
0,710	58	0,035	0,051	0,051	0,034	[-1]	0,034	[-1]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	[-1]	[-1]	0,072	[-1]	2,308	
0,770	59	0,337	0,353	0,353	0,554	0,337	0,457	0,207	0,017	0,050	[0]	0,039	0,178	0,078	0,457	0,235	0,517	0,105	0,485	0,207
0,770	60	0,287	0,337	0,337	0,308	0,353	0,323	0,299	0,018	0,050	[0]	0,041	0,009	0,083	0,205	0,243	0,517	0,172	0,485	0,310
0,770	61	0,070	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	0,027	[-1]	0,023	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	3,881	[-1]	[-1]	
0,770	62	0,070	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	0,027	[-1]	0,023	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	[-1]	3,881	[-1]	[-1]	
0,419	80	0,014	0,014	0,014	0,014	0,410	0,014	0,419	[0]	0,014	[0]	0,014	[0]	[-1]	0,012	[-1]	4,194	0,014	1,398	1,040
0,419	81	0,087	0,089	0,089	0,108	0,080	0,100	0,000	[0]	0,015	[0]	0,010	0,025	0,014	0,081	0,002	0,145	0,041	0,131	0,082
1,573	82	0,140	0,192	0,192	0,140	0,192	0,140	0,192	0,052	0,159	0,043	0,147	[0]	0,192	0,089	0,182	0,192	0,192	0,192	0,192
1,573	83	0,291	0,350	0,281	0,304	0,287	0,384	0,207	[0]	0,051	[0]	0,036	0,101	0,043	0,315	0,190	0,583	0,128	0,524	0,254
1,400	84	0,119	0,213	0,171	0,115	0,287	0,115	0,207	0,043	0,131	0,035	0,120	[0]	0,207	0,074	0,207	0,207	0,244	0,207	0,207
1,400	85	0,219	0,257	0,204	0,300	0,188	0,300	0,188	[0]	0,036	[0]	[0]	0,083	0,030	0,208	0,135	0,370	0,091	0,341	0,181
1,442	86	0,400	0,027	0,555	0,379	0,840	0,379	0,848	0,000	0,320	0,054	0,249	0,020	0,040	0,244	0,961	1,109	0,001	1,109	1,109

TABLEAU 4 (suite)

Efficacité (bit/s/Hz)	Porteuse utile	Efficacité par degré d'espacement angulaire sur l'arc orbital (bit/s/Hz/ degrés)																			
		Porteuse brouilleuse																			
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	80	81	82	83	84	85	86
	8	3,333	1,190	0,575	1,615	0,340	0,200	0,219	0,379	0,201	0,100	0,107	0,382	0,222	0,200	0,089	0,172	0,303	0,200	0,463	0,450
	9	0,759	0,278	0,126	0,335	0,073	0,082	0,052	0,088	0,054	0,044	0,042	0,000	0,050	0,062	0,036	0,036	0,086	0,045	0,190	0,096
	10	0,822	0,323	0,154	0,403	0,090	0,069	0,058	0,008	0,061	0,050	0,048	0,091	0,057	0,067	0,039	0,045	0,100	0,050	0,235	0,118
	15	0,143	0,111	0,066	0,087	0,038	0,034	0,028	0,023	0,020	0,025	0,024	0,022	0,019	0,016	0,010	0,018	0,041	0,025	0,062	0,089
	16	0,203	0,070	0,032	0,097	0,018	0,014	0,012	0,023	0,013	0,010	0,010	0,021	0,012	0,010	0,008	0,010	0,021	0,011	0,051	0,032
	17	0,143	0,111	0,064	0,097	0,038	0,034	0,029	0,023	0,020	0,020	0,024	0,022	0,020	0,010	0,010	0,018	0,041	0,025	0,002	0,046
	18	0,203	0,070	0,032	0,097	0,019	0,014	0,012	0,023	0,013	0,011	0,010	0,022	0,013	0,010	0,000	0,000	0,021	0,011	0,051	0,025
	21	0,279	0,179	0,100	0,100	0,050	[-1]	0,545	0,020	0,020	0,333	0,308	[0]	[0]	[0]	0,205	[0]	0,059	0,050	0,067	0,003
	22	0,706	0,240	0,110	0,333	0,004	0,054	0,045	0,080	0,040	0,038	0,030	0,070	0,044	0,000	0,031	0,034	0,075	0,039	0,176	0,005
	25	0,833	0,080	0,072	0,072	0,028	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[0]	0,090	[0]	0,028	0,024	0,032	0,030
	26	0,500	0,170	0,078	0,229	0,030	0,035	0,030	0,054	0,012	0,027	0,020	0,054	0,032	0,030	[0]	0,024	0,054	0,028	0,125	0,061
	30	0,289	0,074	0,035	0,069	0,019	[-1]	[-1]	0,007	0,000	[-1]	[-1]	0,007	[0]	[0]	0,011	[0]	0,020	0,012	0,032	0,031
	31	0,131	0,041	0,018	0,060	0,011	[0]	[0]	0,014	[0]	[0]	[0]	0,013	[0]	0,009	[0]	[0]	0,012	[0]	0,031	0,018
	32	0,106	0,053	0,031	0,038	0,018	0,019	0,016	0,009	[0]	0,015	0,014	0,010	[0]	[0]	0,011	[0]	0,019	0,013	0,026	0,021
	33	0,111	0,024	0,015	0,050	[0]	[0]	[0]	0,012	[0]	[0]	[0]	0,012	[0]	[0]	[0]	[0]	0,010	[0]	0,025	0,012
	40	0,265	0,128	0,053	0,093	0,031	0,028	0,023	0,024	0,019	0,020	0,019	0,022	0,018	0,017	0,018	0,016	0,035	0,020	0,059	0,039
	41	0,324	0,186	0,147	0,149	0,085	0,211	0,170	0,035	0,036	0,162	0,145	0,032	0,032	[0]	0,063	0,033	0,083	0,076	0,105	0,088
	42	0,420	0,159	0,057	0,149	0,033	0,028	0,023	0,030	0,024	0,020	0,019	0,030	0,022	0,020	0,016	0,017	0,038	0,020	0,088	0,044
	45	0,290	0,165	0,120	0,132	0,070	0,092	0,078	0,031	0,031	0,067	0,084	0,029	0,029	[0]	0,050	0,029	0,071	0,054	0,080	0,073
	50	1,099	0,476	0,238	0,510	0,139	0,124	0,104	0,130	0,100	0,006	0,002	0,129	0,000	0,093	0,000	0,072	0,161	0,087	0,311	0,178
	51	0,794	0,420	0,255	0,357	0,150	0,157	0,132	0,006	0,007	0,100	0,104	0,085	0,077	0,066	0,000	0,070	0,164	0,101	0,234	0,181
	52	0,470	0,275	0,140	0,166	0,008	0,110	0,093	0,043	0,042	0,079	0,076	0,039	0,038	0,031	0,030	0,037	0,089	0,068	0,112	0,097
	53	0,610	0,275	0,128	0,178	0,074	0,076	0,063	0,040	0,042	0,054	0,051	0,042	0,038	0,032	0,030	0,035	0,001	0,050	0,115	0,089
	54	0,476	0,265	0,143	0,100	0,084	0,110	0,092	0,043	0,041	0,070	0,075	0,039	0,030	0,030	0,030	0,037	0,088	0,062	0,110	0,095
	55	0,256	0,081	0,037	0,117	0,021	[0]	[0]	0,028	0,015	[0]	[0]	0,028	[0]	0,019	[0]	[0]	0,025	[0]	0,061	0,028
	56	0,276	0,094	0,043	0,126	0,025	0,019	[0]	0,030	0,017	[0]	[0]	0,029	0,017	0,021	[0]	[0]	0,029	0,015	0,068	0,033
	57	0,101	0,058	0,045	0,045	0,026	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	0,022	[-1]	0,028
	58	0,101	0,058	0,045	0,045	0,026	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[0]	[-1]	[0]	[-1]	0,022	[-1]	0,028
	59	0,776	0,235	0,108	0,337	0,083	0,048	0,040	0,083	0,044	0,035	0,033	0,077	0,041	0,055	0,027	0,032	0,071	0,038	0,176	0,090
	60	0,706	0,243	0,112	0,323	0,065	0,050	0,042	0,077	0,045	0,030	0,035	0,071	0,042	0,052	0,028	0,033	0,073	0,040	0,172	0,100
	61	[-1]	[-1]	0,103	0,103	0,081	[-1]	[-1]	0,025	0,025	[-1]	[-1]	0,023	0,023	0,018	[-1]	0,024	[-1]	0,051	[-1]	0,076
	62	[-1]	[-1]	0,103	0,103	0,081	[-1]	[-1]	0,025	0,025	[-1]	[-1]	0,023	0,023	0,018	[-1]	0,024	[-1]	0,051	[-1]	0,076
	80	2,097	0,014	0,014	0,014	0,014	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[-1]	[-1]	[0]	[0]	[0]	0,014	[0]	0,014	0,012	0,014	0,014
	81	0,200	0,066	0,030	0,089	0,017	0,013	0,011	0,021	0,012	[0]	[0]	0,021	0,012	0,012	[0]	0,000	0,020	0,011	0,040	0,014
	82	0,192	0,192	0,192	0,192	0,130	0,192	0,192	0,047	0,047	0,192	0,192	0,044	0,044	0,034	0,192	0,044	0,108	0,092	0,125	0,117
	83	0,604	0,222	0,116	0,366	0,069	0,044	[0]	0,074	0,040	[0]	[0]	0,069	0,038	0,050	[0]	[0]	0,063	0,033	0,151	0,072
	84	0,267	0,226	0,177	0,177	0,103	0,267	0,267	0,038	0,038	0,267	0,267	0,030	0,030	[0]	0,257	0,043	0,107	0,076	0,103	0,096
	85	0,543	0,169	0,076	0,244	0,044	[0]	[0]	0,054	[0]	[0]	[0]	0,050	[0]	0,038	[0]	[0]	0,089	[0]	0,108	0,051
	86	1,109	0,655	0,437	0,534	0,257	0,272	0,228	0,128	0,121	0,198	0,187	0,119	0,113	0,091	0,060	0,113	0,262	0,187	0,370	0,277

[-1] Indique qu'un espacement angulaire de 0° est obtenu.

[0] Indique qu'une discrimination supplémentaire est requise.

NOTE 1 – Les porteuses sont supposées être du type à largeur de bande limitée.

## ANNEXE 2

**Caractéristiques techniques des réseaux SFS à 20/30 GHz****1 Caractéristiques techniques des réseaux à microstations (VSAT) à 20/30 GHz**

Le GT 4A a été saisi en mars 1996 d'une contribution présentant les caractéristiques de 10 réseaux VSAT OSG. Une synthèse (voir le Tableau 5) a été établie à l'aide des paramètres communs à la majorité des systèmes et testée dans le § 2 en vue d'une utilisation en partage. Certains paramètres, comme les masques d'antenne, ont été déduits de ladite contribution et, au besoin, vérifiés dans l'analyse de partage.

TABLEAU 5

**Caractéristiques techniques génériques des réseaux VSAT à 20/30 GHz**

Paramètre	Liaison montante	Liaison descendante
Répéteur	Remodulation	Remodulation
Modulation	MDP-4	MDP-4
Codage	Non	Oui
Accès	SCPC (une seule voie par porteuse)	MRT-AMRT
Liaison minimale $E_b/(N_0 + I_0)$	8,0	6,0
Débit binaire type (Mbit/s)	0,384	100
Gain maximal de l'antenne du satellite (dBi)	45	45
Masque d'antenne du satellite	Rec. UIT-R S.672	Rec. UIT-R S.672
Antenne de station terrienne (dBi)	45	42
Masque d'antenne de station terrienne	Rec. UIT-R S.672	Rec. UIT-R S.672
Température de bruit (K)	600	250
Puissance d'émission (dBW)	0 maximum -10 minimum	13 maximum 13 nominal
Commande de puissance adaptative	Oui	Non
Marge de liaison (dB)	5-10 <sup>(1)</sup>	3-5 <sup>(1)</sup>
Discrimination d'antenne de station terrienne liaison montante/descendante à 2° (dB)	23	20
Réutilisation des fréquences	(2)	(2)

<sup>(1)</sup> Dépend de l'emplacement de la station terrienne par rapport au pic du faisceau.

<sup>(2)</sup> Pas évident, mais généralement environ 4:1-6:1 moyennant l'utilisation de plusieurs faisceaux ponctuels, sans polarisation.

## 2 Partage entre réseaux VSAT

Il ressort du Tableau 5 que les réseaux VSAT ont besoin d'employer plusieurs faisceaux ponctuels dans le même canal pour une réutilisation des fréquences; or, tous les faisceaux ne peuvent se prêter à la même fréquence et à la même polarisation étant donné le risque de brouillage excessif entre faisceaux adjacents. En conséquence, on a estimé le niveau de brouillage à l'intérieur des faisceaux en supposant l'existence, au moins, d'un rapport de découplage entre faisceaux adjacents. Le but de la présente analyse est de déterminer si l'utilisation en partage des bandes de fréquences en question entre des systèmes VSAT similaires est réalisable avec un espacement de seulement 2°.

Pour procéder à cette approximation de premier ordre concernant les possibilités de partage à un espacement de 2°, il a été nécessaire d'établir certaines hypothèses aux fins de simplification. Les marges de liaison ont ainsi été évaluées avec minutie pour voir si la commande de puissance sur la liaison montante était possible et réalisable avec une seule voie et porteuse (SCPC) alors que la puissance et les marges sur la liaison descendante étaient fixes en raison du fonctionnement en MRT. On a en outre choisi une valeur, maximale, de 10 dB pour l'évanouissement dû à la pluie sur la liaison montante afin qu'un satellite adjacent ne soit pas soumis à un brouillage excessif pendant des phénomènes importants, mais occasionnels. On a de plus choisi une marge fixe de protection contre les évanouissements de 5 dB sur la liaison descendante, marge moyenne nécessaire à l'obtention d'une disponibilité donnée correspondant à la valeur de 10 dB sur la liaison montante et on a considéré comme nécessaire d'adopter un CED pour préserver la marge sur la liaison descendante.

Le niveau de brouillage entre faisceaux adjacents de 18 dB  $E_b/I_0$  était, quant à lui, fondé sur des estimations publiées concernant un modèle de système particulier. Un partage à un espacement de 2° et avec des antennes de 0,7 m serait presque impossible si le niveau de brouillage à l'intérieur du réseau n'était pas pratiquement identique à celui des satellites adjacents; on a donc présumé qu'il serait nécessaire d'utiliser des antennes de satellite à haute performance décrites dans la Recommandation UIT-R S.672.

Les marges de liaison statiques ont été budgétées de sorte que la liaison montante soit suffisamment robuste pour absorber un pic occasionnel de puissance sur la liaison montante provenant d'un réseau adjacent. Il est raisonnable de supposer que la liaison descendante ne subirait pas un évanouissement total en même temps qu'un satellite adjacent; la marge statique de 5 dB permettrait donc d'assurer la protection nécessaire contre le brouillage d'un satellite adjacent. Il a été nécessaire d'opter pour un codage de la liaison descendante afin d'accroître ces marges de liaison étant donné que le découplage de l'antenne n'est pas aussi fort à 20 GHz dans le cas d'une station terrienne à ouverture fixe.

En première approximation, on a estimé de manière prudente que les angles topocentriques étaient égaux à l'angle géocentrique. Enfin, le brouillage causé par des satellites adjacents espacés de 4° demanderait une étude plus détaillée d'ouvertures à haute performance dans la bande Ka; on peut raisonnablement supposer qu'un découplage supplémentaire compris entre 3 et 8 dB serait obtenu. De même, les liaisons devraient faire l'objet d'une analyse supplémentaire si l'on devait prendre en considération une réutilisation des fréquences de 100% à l'intérieur d'un faisceau grâce à une compensation automatique de la dépolarisation atmosphérique. Aux fréquences en question il est extrêmement difficile d'estimer le découplage de polarisation existant entre différents réseaux.

Le Tableau 6 présente les résultats de l'examen qui a été consacré aux liaisons VSAT compte tenu des hypothèses mentionnées ci-dessus.

TABLEAU 6

## Calculs réalisés pour des liaisons VSAT avec un espacement de 2°

	Liaison descendante			Liaison montante		
	Pluie	Temps clair	Temps clair	Pluie	Temps clair	Temps clair
<i>Emetteur</i>	Pic du faisceau	Pic du faisceau	Satellite adjacent	Pic du faisceau	Pic du faisceau	Satellite adjacent
Fréquence (GHz)	19,9	19,9	19,9	29,7	29,7	29,7
Puissance (dBW)	13,0	13,0	13,0	0,0	-10,0	-10,0
Gain d'antenne (dB)	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	22,0
Perte dans le circuit (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Affaiblissement dû au pointage (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
p.i.r.e. (dBWi)	58,0	58,0	58,0	45,0	35,0	12,0
Densité de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-22,0	-22,0	-22,0	-10,8	-20,8	-43,8
<i>Affaiblissements du système</i>						
Distance oblique (km)	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0
Marge (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Espace (dB)	-209,8	-209,8	-209,8	-213,3	-213,3	-213,3
Atmosphère (dB)	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0
Pluie (dB)	-5,0	0,0	0,0	-10,0	0,0	0,0
Total (dB)	-215,3	-210,3	-210,3	-224,3	-214,3	-214,3
<i>Récepteur</i>						
Signal reçu (dBWi)	-157,3	-152,3	-152,3	-179,3	-179,3	-202,3
Pointage/polarisation (dB)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,9	-0,9	-0,9
Gain d'antenne (dB)	42,0	42,0	23,0	45,0	45,0	45,0
Entrée récepteur (dBW)	-115,7	-110,7	-129,7	-135,2	-135,2	-158,2
Température (K)	250,0	250,0		575,0	575,0	
Densité de bruit (dB(W/Hz))	-204,6	-204,6		-201,0	-201,0	
Largeur de bande (dB(Hz))	80,0	80,0		55,8	55,8	
Puissance de bruit (dBW)	-124,6	-124,6		-145,2	-145,2	
Liaison $E_b/N_0$ (dB)	8,9	13,9		10,0	10,0	
Faisceaux adjacents $E_b/I_0$ (dB)	18,0	18,0		18,0	18,0	
Satellites adjacents $E_b/I$ (dB)	17,0	22,0		26,0	26,0	
$E_b/(N_0 + I)$ net (dB)	7,9	12,0		9,3	9,3	
$E_b/N_0$ exigé (dB)	6,0	6,0		8,0	8,0	
Marge statique (dB)	1,9	6,0		1,3	1,3	
<i>Divers</i>						
Puissance surfacique recommandée (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-124,4	-124,4		-113,2	-123,2	
$G/T$ (dBi(K <sup>-1</sup> ))	18,0	18,0		17,4	17,4	
Densité de puissance d'émission (dB(W/Hz))	-67,0	-67,0		-55,8	-65,8	
Densité de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-22,0	-22,0		-10,8	-20,8	
Débit (Mbit/s)	100,0	100,0		0,384	0,384	
Discrimination d'antenne de 2° (dB)	19,0	19,0		23,0	23,0	

Comme on peut le voir, l'espacement de  $2^\circ$  est possible si la taille de l'antenne de la station terrienne est égale ou supérieure à 0,7 m environ de sorte que la discrimination obtenue puisse y être élevée; toutefois, les systèmes doivent de plus être modérément homogènes en ce qui concerne les marges de liaison.

### 3 Partage entre microstations et systèmes de plus grande taille

Les bandes 30/20 GHz seraient apparemment utiles pour acheminer du trafic à débit élevé sur de grandes distances étant donné que le coût des liaisons par satellite est relativement indépendant de la distance et que, de fait, plusieurs systèmes OSG, conçus pour ce type de trafic, sont déjà en service. Les Tableaux 7 et 8 présentent les principales caractéristiques d'un système de ce type, compte tenu des informations mises à la disposition du GT 4A et publiées dans des notifications au titre de l'Appendice 3 du RR.

TABLEAU 7

#### Caractéristiques techniques génériques de grands systèmes dans les bandes 20/30 GHz

Paramètre	Liaison montante	Liaison descendante
Répéteur	Guide coudé	Guide coudé
Modulation	MDP-4	MDP-4
Accès	SCPC-AMRT	SCPC-AMRT
Liaison minimale $E_b/(N_0 + I_0)$ (dB)	20	10
Débit binaire type (Mbit/s)	120	120
Gain maximal d'antenne de satellite (dBi)	51	47
Gain maximal d'antenne de station terrienne (dBi)	60,5	57,2
Masque d'antenne de station terrienne	Rec. UIT-R S.465	Rec. UIT-R S.465
Température de bruit (K)	900	325
Puissance d'émission (dBW)	22 maximum	11 saturé
Commande de puissance adaptative	Non	Non
Marge de liaison (dB)	15 <sup>(1)</sup>	10 <sup>(1)</sup>
Discrimination d'antenne de station terrienne liaison descendante/montante à $2^\circ$ (dBi)	21,5	25,5
Commande de puissance adaptative	Non	Non

<sup>(1)</sup> Les liaisons montantes et descendantes correspondant au répéteur transparent seraient par hypothèse rarement soumises, en même temps, à de forts phénomènes d'évanouissement du fait de leur large séparation géographique.

A l'aide des caractéristiques du Tableau 7 des liaisons échantillon ont été développées et sont brièvement présentées dans le Tableau 8.

TABLEAU 8

## Partage entre des systèmes de grande taille en bande Ka avec un espacement de 2°

	Liaison descendante			Liaison montante		
	Pluie	Temps clair	Temps clair	Pluie	Temps clair	Temps clair
<i>Émetteur</i>	Pic du faisceau	Pic du faisceau	Satellite adjacent	Pic du faisceau	Pic du faisceau	Satellite adjacent
Fréquence (GHz)	19,9	19,9	19,9	29,7	29,7	29,7
Puissance (dBW)	11,0	11,0	11,0	22,0	22,0	22,0
Gain d'antenne (dB)	47,0	47,0	47,0	60,5	60,5	21,5
Perte dans le circuit (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Affaiblissement dû au pointage (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
p.i.r.e. (dBWi)	58,0	58,0	58,0	82,5	82,5	43,5
Densité de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-22,8	-22,8	-22,8	1,7	1,7	-37,3
<i>Affaiblissements du système</i>						
Distance oblique (km)	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0	37 000,0
Marge (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Espace (dB)	-209,8	-209,8	-209,8	-213,3	-213,3	-213,3
Atmosphère (dB)	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0
Pluie (dB)	-10,0	0,0	0,0	-15,0	0,0	0,0
Total (dB)	-220,3	-210,3	-210,3	-229,3	-214,3	-214,3
<i>Récepteur</i>						
Signal reçu (dBWi)	-162,3	-152,3	-152,3	-146,8	-131,8	-170,8
Pointage/polarisation (dB)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,9	-0,9	-0,9
Gain d'antenne (dB)	57,2	57,2	21,5	51,0	51,0	51,0
Entrée récepteur (dBW)	-105,5	-95,5	-131,2	-96,7	-81,7	-120,7
Température (K)	325,0	325,0		900,0	900,0	
Densité de bruit (dB(W/Hz))	-203,5	-203,5		-199,1	-199,1	
Largeur de bande (120 MHz) (dB(Hz))	80,8	80,8		80,8	80,8	
Puissance de bruit (dBW)	-122,7	-122,7		-118,3	-118,3	
Liaison $E_b/N_0$ (dB)	17,2	27,2		21,6	36,6	
Faisceaux adjacents $E_b/I_0$ (dB)	30,0	30,0		30,0	30,0	
Satellites adjacents $E_b/I$ (dB)	28,7	38,7		27,0	42,0	
Liaison $E_b/(N_0 + I)$ (dB)	16,7	25,2		20,0	28,9	
Réception nette $E_b/(N_0 + I)$ (dB)	16,1	23,6				
$E_b/N_0$ exigé (dB)	10,0	10,0		20,0	20,0	
Marge statique (dB)	6,1	15,2		0,0	8,9	
<i>Divers</i>						
Puissance surfacique recommandée/MHz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-125,2	-125,2		-100,7	-100,7	
$G/T$ (dBi(K <sup>-1</sup> ))	32,1	32,1		21,5	21,5	
Densité de puissance d'émission (dB(W/Hz))	-69,8	-69,8		-58,8	-58,8	
Densité de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-22,8	-22,8		1,7	1,7	
Débit binaire (Mbit/s)	120,0	120,0		120,0	120,0	
Discrimination d'antenne de 2° (dB)	35,7	35,7		39,0	39,0	

Il ressort de ce Tableau 8 que le brouillage  $E_b/I_0$  reçu d'un satellite adjacent varie de 27 à 42 dB, la différence dépendant de l'évanouissement subi par le canal. Il est manifeste que des réseaux OSG dans la bande 20/30 GHz, dotés d'antennes de station terrienne de l'ordre de 3 m capables d'acheminer du trafic point à point à débit élevé, peuvent tout à fait être déployés tous les 2° le long de l'arc.

Pour ce qui est de l'association de microstations VSAT et de systèmes de grande taille, il suffit de se reporter au Tableau 9, lequel compare la densité de p.i.r.e. dans la direction hors axe de 2°. Les niveaux de brouillage sur la liaison descendante sont à l'évidence comparables, mais sur la liaison montante, ils diffèrent de 6,5 dB, différence normale si l'on considère qu'au satellite à guide d'ondes coudé correspondent des marges fixes sur la liaison montante alors que les VSAT utilisent une commande de puissance adaptative. Il conviendrait en conséquence de jouer davantage sur les marges fixes pour envisager une association où des réseaux différents mettraient en œuvre sur la liaison montante à la fois des marges fixes et une commande de puissance adaptative.

En conclusion, il est possible d'envisager que des microstations VSAT partagent l'arc avec des réseaux à ressources partagées de plus grande taille et de maintenir l'espacement à 2°. Etant donné qu'il devrait y avoir moins de stations terriennes de grande taille que de VSAT, on pourrait obtenir un découplage supplémentaire en séparant géographiquement les stations terriennes utilisant la même fréquence.

TABLEAU 9

**Comparaison des p.i.r.e. hors axe**

	Densité de p.i.r.e. sur la liaison descendante (dB(W/Hz))	Densité de p.i.r.e. sur la liaison montante (dB(W/Hz))
Antenne de station terrienne de 3,0 m	-22,8	-37,3
Antenne de station terrienne (VSAT) de 0,7 m	-22,0	-43,8

## ANNEXE 3

**1 Glossaires****1.1 Glossaire d'abréviations**

- AMRC: accès multiple par répartition en code  
 AMRF: accès multiple par répartition en fréquence  
 AMRT: accès multiple par répartition dans le temps  
 CAMR: Conférence administrative mondiale des radiocommunications (désormais CMR)  
 CED: Correction d'erreur directe  
 CMR: Conférence mondiale des radiocommunications (anciennement CAMR)  
 GT 4A: Groupe de travail 4A des radiocommunications  
 MDP-2: modulation par déplacement de phase binaire  
 MDP-4: modulation par déplacement de phase en quadrature

MUMM:	multimédia multi-utilisateur
p.i.r.e.:	puissance isotrope rayonnée équivalente (W)
RCP:	réseau de communication personnelle
RSB:	rapport signal/bruit
RTPC:	réseau téléphonique public avec commutation
SFS:	service fixe par satellite
SMS:	service mobile par satellite
TEB:	taux d'erreur binaire

## 1.2 Glossaire de notations

$B$ :	largeur de bande de bruit du système (Hz)
$C$ :	puissance de la porteuse (W)
$C/I$ :	rapport puissance/brouillage de la porteuse
$(C/I)_D$ :	rapport puissance/brouillage de la porteuse sur la liaison descendante
$(C/I)_{tot}$ :	rapport puissance/brouillage de la porteuse, intégralité de la liaison
$(C/I)_U$ :	rapport puissance/brouillage de la porteuse, liaison montante
$C/N$ :	rapport puissance/bruit de la porteuse
$D$ :	diamètre de l'antenne (m) aussi facteur dynamique du signal (écart du signal par rapport à sa moyenne)
$E_b$ :	énergie par bit d'information
$F$ :	gain de traitement d'un système AMRC
$I$ :	puissance du signal brouilleur (W)
$I_0$ :	puissance surfacique du signal brouilleur (W/Hz)
$I_{0SN}$ :	puissance de brouillage induit d'un système AMRC (W)
$I_{SN}$ :	puissance surfacique de brouillage induit d'un système AMRC (W/Hz)
$m$ :	nombre de porteuses/d'accès simultanés
$m_{max}$ :	nombre maximal de porteuses/d'accès simultanés à un système
$N_0$ :	puissance surfacique de bruit (W/Hz)
$N_{0TH}$ :	densité spectrale de puissance de bruit thermique (gaussien) (W/Hz)
$p$ :	pourcentage de l'année pendant laquelle une valeur donnée de profondeur d'évanouissement est dépassé
$R_b$ :	débit binaire d'information (bit/s)
$R_c$ :	débit binaire de canal (bit/s)
$\Gamma$ :	rendement spectral de modulation numérique (bit/s/Hz)
$\theta$ :	espacement angulaire des satellites dans un système géocentrique (degrés)
$\lambda$ :	longueur d'onde (m)
$\varphi$ :	écart angulaire par rapport à l'axe de visée de l'antenne (degrés) aussi espacement angulaire des satellites dans un système topocentrique (degrés)

---