

RAPPORT UIT-R M.1179-1

Méthodes de détermination des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite

(1990-2004)

1 Introduction

Un système du service mobile par satellite peut utiliser un grand nombre de voies pour fournir des services qui répondent aux divers besoins de communication des stations terriennes mobiles d'aéronef, de navire ou terrestres. Des voies pour la commande du réseau, la transmission de données, de télécopie, de vidéo, et la téléphonie peuvent être assurées. La qualité de fonctionnement et les caractéristiques des liaisons associées à ces voies peuvent être différentes et, en conséquence, la tolérance au brouillage de chaque communication peut être différente. Le présent Rapport propose une approche structurée pour l'établissement de critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite. Les aspects statistiques sont examinés et des méthodes sont décrites pour la détermination des niveaux maximaux admissibles de puissance du brouillage total et du brouillage à une seule source de brouillage.

2 Considérations d'ordre statistique

Dans les systèmes du service mobile par satellite, les niveaux de puissance du signal utile et du bruit varient selon les conditions d'exploitation et les conditions environnantes, de telle sorte qu'il est préférable de représenter les caractéristiques du système comme un paramètre statistique. Les niveaux de puissance des signaux brouilleurs changent pour des raisons semblables. En conséquence, les critères de brouillage devraient être spécifiés avec deux composantes:

- un seuil qui définit une limite de la puissance du signal brouilleur, et
- un pourcentage de temps et, pour le service mobile terrestre par satellite (SMTS), un pourcentage de positions, qui définit la probabilité de dépassement du seuil de brouillage. Ces critères devraient être établis pour au moins deux pourcentages de temps et de positions afin de maîtriser la variabilité du brouillage et celle des niveaux absolus de qualité de transmission.

Des critères à «long terme», afin d'établir le niveau maximal de brouillage admissible qui ne devrait pas être dépassé pendant plus de $X\%$ du temps et, le cas échéant, pour le SMTS, pour $Y\%$ des positions. Les pourcentages de temps et de positions correspondent à ceux de l'objectif de qualité à long terme (par exemple, 10%-50%). Ces niveaux de brouillage et les niveaux de puissance, à long terme, du signal utile et du bruit définissent la qualité de fonctionnement à long terme du système.

Des critères «à court terme» pour l'établissement du niveau maximal de brouillage admissible qui ne devrait pas être dépassé pendant plus d'un faible pourcentage du temps ($M\%$) (et, pour le SMTS, $N\%$ de positions).

Les critères de brouillage admissible à long et à court terme devraient être établis tant pour le brouillage total (c'est-à-dire le total de toutes les sources) que pour le brouillage par une source unique.

3 Fondements des critères de brouillage total

Les objectifs de qualité applicables à des circuits de communication sont spécifiés en fonction des seuils de qualité de la transmission en bande de base et des pourcentages correspondants de temps et de positions pour lesquels ces seuils devront être dépassés. Ces objectifs peuvent être exprimés en termes de rapports de la puissance du signal utile à la somme de la puissance du bruit et de la puissance équivalente du signal brouilleur de type bruit. Les bilans de liaison du système en terme de puissance correspondant aux pourcentages de temps et de positions spécifiés dans les objectifs de performance peuvent être calculés pour des systèmes représentatifs afin de déterminer la qualité de transmission réalisable en l'absence de brouillages mutuels (comme dans le Rapport UIT-R M.760, par exemple). En outre, les niveaux admissibles des brouillages mutuels doivent être compris de manière statistique dans ces bilans de puissance des liaisons, de façon à comparer les niveaux de qualité projetés et atteints. L'équation suivante définit ce rapport, en admettant que l'effet total de signaux brouilleurs multiples a caractère de bruit:

$$\frac{C}{(N+I)_t}(p) = \left[\left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{mob} + \left(\frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{fdr} \right]^{-1} (p) \quad (1)$$

où les notations «*mob*» et «*fdr*» désignent, respectivement, les paramètres de la liaison de service (c'est-à-dire une liaison à 1,5/1,6 GHz) et de la liaison de connexion, et:

- $C/(N+I)_t(p)$: rapport numérique de la puissance du signal utile à la somme de la puissance totale du bruit et de la puissance du brouillage total, à dépasser sauf pour $p\%$ du temps et des positions
- N/C : rapport numérique de la puissance totale du bruit à l'intérieur du système à la puissance du signal utile (il est lié à la qualité atteinte en l'absence de brouillage entre systèmes)
- I/C : rapport numérique de la puissance globale du signal brouilleur à la puissance du signal utile.

La qualité de transmission du système en l'absence de brouillage entre systèmes (c'est-à-dire les valeurs de N/C dans l'équation (1)) est limitée par diverses dégradations de la qualité à l'intérieur du système (par exemple, le bruit thermique du récepteur, le bruit d'intermodulation, etc.). D'autres dégradations de qualité à l'intérieur du système se produisent dans les systèmes qui réutilisent les fréquences (par exemple, entre faisceaux étroits d'antenne de satellite). Ainsi, comme tel a été le cas pour le service fixe par satellite, des critères de brouillage différents peuvent être applicables aux systèmes qui réutilisent les fréquences. De toute façon, la dégradation de qualité imputable au niveau admissible de brouillage ne devrait pas dépasser une petite partie de la dégradation à l'intérieur du système, afin d'assurer que le concepteur et l'opérateur du système en maîtrisent bien les caractéristiques.

On connaît des exemples, dans le service d'exploration de la Terre par satellite et le service de météorologie par satellite, où la limite de brouillage à long terme a été fixée à 25% ou plus du niveau total de puissance du bruit additionné aux brouillages. Le service fixe par satellite (SFS), pour lequel les ressources d'orbite et de spectre sont très recherchées et intensément employées, fixe à 35% du bruit global à long terme dans une voie de téléphonie MRF/MF la limite des brouillages mutuels, ou à 30% dans le cas de systèmes qui emploient la réutilisation des fréquences (Recommandations UIT-R S.353 et UIT-R S.466). De ces pourcentages, jusqu'à 10% des brouillages proviennent des réseaux des services fixes de Terre, et le reste, 20% à 25%, provient des réseaux des services fixes par satellite. Néanmoins, si l'on envisage d'utiliser, dans les services mobiles par satellite, de tels rapports de la puissance de brouillage au bruit global additionné à la puissance de brouillage, l'incidence sur la qualité de transmission et la capacité du système (pour un niveau donné de qualité) devrait être évaluée avec soin.

La qualité de la liaison peut être abaissée à des niveaux associés à un seuil de qualité par l'évanouissement des signaux utiles ou par l'élévation des niveaux des signaux brouilleurs. Les marges applicables à la qualité de transmission devraient être conçues de façon que le brouillage n'abaisse pas la disponibilité des liaisons à un niveau inférieur aux objectifs de qualité.

4 Etablissement du bilan de brouillage

4.1 Prise en compte dans les bilans des liaisons de connexion et des liaisons de service

Les fréquences attribuées au service fixe par satellite sont habituellement utilisées pour des liaisons de connexion; ainsi, chaque moitié d'une voie (liaison montante ou descendante) est exposée à des brouillages provenant d'environnements différents et peut appliquer des critères de brouillage différents.

Des brouillages de courte durée ont également une incidence sur les caractéristiques de C/N et de C/I dans le cas de circuits mobiles à satellite. Une occultation de courte durée ainsi que des effets dus aux trajets multiples peuvent influencer les bilans C/N et C/I sur la liaison de service dans la bande L, notamment pour les réseaux du service mobile terrestre par satellite. De même, si l'on utilise des liaisons de connexion au-dessus de 10 GHz, un évanouissement de courte durée dû à l'affaiblissement par la pluie peut influencer sur le bruit de la liaison de connexion et les bilans de brouillage.

Une caractéristique nominale fondamentale des systèmes mobiles à satellites réside dans le fait que le rapport C/N net (y compris les contributions de C/I) est établi dans une large proportion par les liaisons du service, c'est-à-dire que les liaisons de connexion ne doivent apporter qu'une faible dégradation (pour tenir compte, par exemple, de la très faible disponibilité de la p.i.r.e. des liaisons de connexion dans le sens espace vers Terre des systèmes anciens; un compromis à propos de cette caractéristique nominale a été nécessaire).

4.2 Critères applicables aux liaisons de service

Les niveaux de puissance du signal utile à 1,5/1,6 GHz connaissent généralement des variations amples et rapides. Cela est vrai aussi, à ces fréquences, des signaux brouilleurs, qui varient en général indépendamment des signaux utiles. Ainsi, étant donné la caractéristique de fonctionnement d'une liaison de service (calculée à partir de l'équation 1, de l'objectif de qualité de fonctionnement et des bilans des liaisons de connexion et de service), le niveau global admissible des brouillages pourrait être déterminé par une analyse statistique des signaux utiles et brouilleurs. En outre, étant donné un nombre présumé de brouilleurs, une analyse statistique pourrait être réalisée afin de déterminer les niveaux de brouillage admissibles pour une source de brouillage unique. L'Annexe 1 décrit comment ces bilans de brouillage pourraient être établis. Une description des seuils de coordination pour ces liaisons est examinée dans l'Annexe 3.

4.3 Critères applicables aux liaisons de connexion

Dans la liaison de connexion descendante, le niveau de puissance du signal utile subit les mêmes variations que le signal de la liaison de service montante lorsque le répéteur est utilisé dans la zone quasi linéaire. Donc, la méthode utilisée pour la liaison de connexion descendante devrait être semblable à celle appliquée aux liaisons de service montantes.

Dans les liaisons de connexion montantes, où le signal utile est à 1 dB environ de sa valeur moyenne pendant des pourcentages de temps élevés (par exemple, >95%), on peut admettre des hypothèses qui simplifient le calcul des critères de brouillage. Plus explicitement, les niveaux relatifs réels de puissance totale de brouillage admissibles à long terme peuvent être fondés sur des analyses de la qualité prévue pour la valeur moyenne du signal utile. Les critères de brouillage «à court terme» peuvent être établis à partir d'une analyse de la qualité «hors évanouissement» parce que la probabilité combinée est très faible de voir un accroissement du brouillage à des niveaux qu'il n'atteint que pendant de faibles pourcentages du temps, tandis que le signal utile serait affaibli par l'évanouissement à des niveaux qu'il ne connaît que pour de faibles pourcentages de temps. L'Annexe 2 propose une méthode pour définir des critères de brouillage de la liaison de connexion montante fondés sur ces hypothèses.

Annexe 1

Calcul des critères de brouillage applicables aux liaisons de service fonctionnant à 1,5/1,6 GHz et aux liaisons de connexion descendantes

1 Introduction

Les systèmes du service mobile par satellite fonctionnant dans la partie du spectre correspondant à 1,5/1,6 GHz devront s'adapter à une large gamme de caractéristiques de services qui comprennent tant les techniques de modulation analogique que celles de modulation numérique, des largeurs de bande et des débits binaires divers et différents niveaux de puissance d'émetteur. Il y a des variations appréciables de p.i.r.e., de largeur de bande et de marge de qualité parmi les diverses voies utilisées pour les liaisons de service offertes dans les systèmes du service mobile par satellite. Chaque type de liaison devrait être évalué à part. Cependant, on prévoit qu'il s'avérera que plusieurs types de liaison ont des critères de brouillage semblables.

2 Services brouilleurs à prendre en considération

Le brouillage des liaisons de service d'un système du service mobile par satellite fonctionnant dans les bandes des 1,5/1,6 GHz sera causé par des émissions de stations spatiales et de stations terriennes mobiles fonctionnant dans d'autres systèmes du service mobile par satellite. Le brouillage des liaisons de service fonctionnant dans certaines parties des bandes des 1,5/1,6 GHz sera aussi provoqué par des émissions de systèmes du service fixe fonctionnant dans des zones géographiques particulières. Le brouillage des liaisons de connexion descendantes peut être provoqué par d'autres services utilisant ces mêmes bandes.

3 Facteurs de propagation

Les signaux des liaisons de service d'un système du service mobile par satellite sont affectés essentiellement par la réflexion et la diffusion causées par le terrain environnant (par exemple, le sol, les océans et les bâtiments), par l'occultation causée par des obstacles (par exemple, bâtiments et arbres) le long du trajet Terre vers espace, et par la diffraction causée par les obstacles proches. Ces liaisons sont aussi affectées, mais à un degré bien moindre dans les bandes des 1,5/1,6 GHz, par

l'ionosphère, la troposphère et par les précipitations. Les Recommandations UIT-R P.680 et UIT-R P.681 décrivent les effets de propagation observés dans des environnements maritimes et terrestres, respectivement à des fréquences supérieures à 100 MHz. Les environnements aéronautiques sont également étudiés dans la Recommandation UIT-R P.682. Des trois types de milieu de fonctionnement, c'est sur les liaisons du service mobile terrestre par satellite que les effets de propagation sont les plus intenses.

Les valeurs des affaiblissements de propagation dépendent de l'environnement local. Des études théoriques et des mesures effectuées pour les liaisons montrent que les signaux se propageant par trajets multiples suivent une distribution de Rayleigh. La puissance moyenne des signaux se propageant par trajets multiples par rapport à la puissance du signal en visibilité directe (LOS) non affaibli est fonction du diagramme de rayonnement et de l'angle d'élévation de l'antenne ainsi que des caractéristiques des milieux physiques par lesquels les signaux se propageant par trajets multiples sont diffusés. Si la discrimination de l'antenne réceptrice n'est pas complète envers le signal propagé par trajets multiples, et si le signal en visibilité directe n'est pas fortement affaibli, alors la répartition de l'enveloppe du signal reçu peut être modélisée par la fonction de distribution de Rice-Nakagami. Des mesures ont également montré que la distribution de la puissance du signal en visibilité directe dans des conditions d'occultation (par exemple, par des arbres ou d'autres obstacles) se rapproche d'une distribution log-normale. Ainsi, pour tous les environnements, la variation statistique de l'enveloppe du signal reçu peut être modélisée comme un processus composite. Les fluctuations de la puissance instantanée du signal reçu peuvent être modélisées comme un processus de Rice-Nakagami, dans lequel on admet que l'amplitude du signal «constant» est un processus log-normal. Un examen assez complet des détails mathématiques de ce processus composite est proposé dans la Recommandation UIT-R P.1057.

On notera cependant que ces modèles mathématiques pourraient ne pas être suffisamment précis, en particulier dans la région des niveaux de signal extrêmement élevés ou faibles, où la probabilité d'occurrence de tels niveaux est très faible.

Les niveaux des signaux brouilleurs seront affectés par des facteurs de propagation analogues. Néanmoins, le niveau du brouillage en visibilité directe peut la plupart du temps être utilisé comme valeur caractéristique dans les cas où l'on prend en considération le brouillage causé par d'autres réseaux du service mobile par satellite, à condition que les angles d'élévation des trajets du signal utile et du signal brouilleur ne soient pas trop petits (par exemple, $<5^\circ$).

En examinant les critères de brouillage à court terme, il faudra tenir compte des accroissements à court terme des niveaux de brouillage dus aux mécanismes de propagation par trajets multiples, en particulier dans les cas où la station terrienne mobile est sur la mer. On peut connaître, à cause de ces effets, des accroissements atteignant 5 dB relativement au niveau observé en visibilité directe.

Les analyses devront tenir compte des effets de la différence entre les angles d'élévation des signaux utiles et des signaux brouilleurs ou de la discrimination de l'antenne de la station terrienne et des différences qui en résultent dans les fonctions de répartition des signaux utiles et des signaux brouilleurs. Les angles d'élévation doivent être pris en considération lorsque les critères de partage sont appliqués, mais les effets de la discrimination de l'antenne de la station terrienne peuvent être englobés dans les critères de brouillage. En outre, l'effet du *bruit* à l'intérieur du système doit être inclus.

Le niveau total de brouillage peut être déterminé par convolution des fonctions de densité de probabilité des sources individuelles de brouillage supposées. Ces rapports entre la qualité requise et les niveaux de brouillage global et pour une source unique peuvent être utilisés pour déterminer les niveaux de brouillage admissibles pour les liaisons de service.

Annexe 2

Calcul des critères de brouillage admissible (source unique) applicables à la liaison de connexion montante

1 Attribution des critères de brouillage aux services spatiaux et aux services de Terre

Les attributions de fréquences Terre vers espace utilisées par les services mobiles par satellite nécessitent en général le partage entre systèmes du service mobile par satellite, le partage avec les systèmes du service de Terre et, dans certains cas, le partage avec des systèmes d'autres services spatiaux. Une première division des critères de brouillage à court terme (maximal) et à long terme (près de la médiane) peut être faite afin d'établir séparément les bilans de brouillage pour le service spatial et le service de Terre. Cette façon de procéder facilite la détermination de critères de partage et de seuils de coordination appropriés, applicables aux systèmes spatiaux et aux systèmes de Terre, lesquels sont généralement présents en nombres différents et risquent de créer des potentiels de brouillage de gravités différentes. On pourra utiliser les équations suivantes pour cette subdivision:

$$I_s(x) = I(x) \cdot \frac{A_s}{100} \quad (2)$$

$$I_t(x) = I(x) - I_s(x) \quad (3)$$

où:

- I_s : bilan de brouillage (W) pour le service spatial
- I_t : bilan de brouillage (W) pour le service de Terre
- A_s : pourcentage du bilan de puissance du brouillage total attribué au service spatial
- $I(x)$: niveau total admissible de puissance brouilleuse (W) à ne pas dépasser plus de $x\%$ du temps lorsque x est associé à l'objectif de qualité à long terme.

$$I_s(p_s) = I(p) - I_t(x) \quad (4a)$$

$$I_s(p_t) = I(p) - I_s(x) \quad (4b)$$

$$p_s = p(a_s / 100) \quad (5a)$$

$$p_t = p - p_s \quad (5b)$$

où:

- p : pourcentage de temps associé au critère de brouillage à court terme
- p_s : pourcentage de temps pendant lequel les services spatiaux peuvent dépasser le seuil de brouillage
- p_t : pourcentage de temps pendant lequel les services de Terre peuvent dépasser le seuil de brouillage
- a_s : partie (%) du pourcentage de temps p attribuée aux services spatiaux
- $I(p)$: puissance totale du brouillage (W) à ne pas dépasser pendant plus de $p\%$ du temps (c'est-à-dire critère de brouillage à court terme).

Dans les équations (2) et (3), les critères de brouillage à long terme sont subdivisés sur la base de la puissance entre les catégories de brouillage du service spatial et du service de Terre. Cela est justifié car l'on peut s'attendre à ce que ces niveaux de brouillage spatial et de Terre à long terme soient présents simultanément.

Les critères de brouillage à court terme sont subdivisés dans les équations (4) et (5) d'après le pourcentage de temps entre les catégories de brouillage du service spatial et du service de Terre. Il est peu probable que les niveaux de brouillage maximaux à court terme soient atteints simultanément dans le service spatial et le service de Terre, en raison de l'absence de corrélation entre les mécanismes qui causent ces maximums. Toutefois, le brouillage provoqué par les services spatiaux, à son niveau à long terme, doit être pris en considération quand on établit le bilan de brouillage à court terme pour les services de Terre; il en va de même pour les brouillages causés par les services de Terre aux services spatiaux. Ainsi, dans les équations (4a) et (5a), on admet que le brouillage à long terme associé au service spatial s'additionne au brouillage à court terme associé au service de Terre.

Les valeurs pour la répartition de la puissance brouilleuse (I_s) et (I_t) et du temps (P_s) et (P_t) dans les équations (2) à (5) devront être choisies de façon à correspondre aux niveaux relatifs de brouillage que l'on peut attendre de l'environnement caractéristique de brouilleurs du service de Terre et du service spatial, afin de minimiser les contraintes résultant de l'adoption de critères de partage.

2 Considérations relatives à l'établissement de critères de partage

2.1 Critères de brouillage par source unique

Des subdivisions des limites de brouillage total et de temps pour les brouilleurs spatiaux et de Terre peuvent être faites pour établir les niveaux admissibles appropriés de brouillage provoqué par des sources uniques (cas du brouillage «à source unique»). Les équations (6) et (7) ci-après peuvent être utilisées à cette fin:

$$I_{x'}(x) = \frac{I_x(x)}{n} \quad (6)$$

$$I_{x'}(p_{x'}) = \frac{I_x(p_x)}{y_n} - \left(I_{x'}(20) \cdot \frac{1-y}{y} \right) \quad (7a)$$

$$p_{x'} = \frac{p_x}{y_n} \quad (7b)$$

où les expressions affectées du symbole (') désignent les valeurs des sources individuelles, et:

$I_x(x)$: niveau total de brouillage admissible (W) pris en compte pour des services spatiaux ou des services de Terre, à ne pas dépasser plus de $x\%$ du temps

$I_x(p_x)$: niveau relatif réel de puissance totale de brouillage admissible (W) pris en compte pour des services spatiaux ou des services de Terre, à ne pas dépasser plus de $p_x\%$ du temps

n : nombre effectif des brouilleurs spatiaux ou de Terre

y : partie des brouilleurs à un niveau maximal, $0 < y < 1$.

Les équations (6) et (7) sont semblables en nature aux équations (2) à (5). Les limites du brouillage à long terme sont subdivisées en fonction de la puissance et les limites du brouillage à court terme sont subdivisées en fonction du pourcentage de temps. Dans l'équation (7), on admet que seules quelques-unes des sources de brouillage atteignent leurs valeurs maximales à court terme et elles sont, par conséquent, sans corrélation. Tandis que ces sources de brouillage sont à un niveau maximal, on admet que toutes les autres sources sont à leur niveau à long terme. On admet que la somme de ces niveaux à long terme est égale à $(n - yn)$ fois la limite de brouillage par une source unique à long terme.

Annexe 3

Seuils de coordination et critères de partage applicables aux liaisons dans les bandes des 1,5/1,6 GHz*

1 Coordination entre systèmes à satellites

Le brouillage potentiel entre les systèmes à satellites est étudié dans le cadre de la coordination d'après l'Article 9 du RR afin de déterminer, s'il y a lieu, quelles contraintes de conception ou de fonctionnement sont nécessaires pour faire en sorte que le brouillage reste au-dessous des niveaux acceptables. Les niveaux admissibles du brouillage par une source unique définissent les niveaux minimaux de brouillage acceptables pour une utilisation dans la coordination. L'Appendice 8 du RR prescrit une méthode pour déterminer le moment où cette coordination doit être assurée. La coordination est déclenchée lorsqu'un faible accroissement de la température de bruit dans une liaison est prévu dans les conditions les plus défavorables (soit un accroissement de 6%). Dans la pratique, avec cette façon de procéder, la faible discrimination des antennes des stations terriennes mobiles dans les bandes des 1,5/1,6 GHz déclencherait presque toujours la coordination, à condition qu'une station terrienne mobile d'un système soit en visibilité directe du satellite de l'autre système. Ainsi, cette condition de visibilité paraît être une manière pratique de déterminer le moment où la coordination devrait être assurée entre les systèmes du service mobile par satellite fonctionnant dans les bandes des 1,5/1,6 GHz, sauf lorsque les zones de couverture du satellite sont totalement séparées.

2 Brouillage causé au récepteur du satellite par des stations de Terre

Les critères applicables au partage, au voisinage de 1,6 GHz, entre les stations émettrices des services de Terre et les stations spatiales peuvent être établis à partir du niveau global admissible de brouillage à long terme pris en compte pour cette interaction (voir l'Annexe 1 du Rapport UIT-R M.1173).

La coordination n'est pas utilisée comme méthode pour maîtriser cette interaction des brouillages. Au lieu de cela, les critères de partage applicables ont la forme de limites de p.i.r.e. et de puissance d'entrée des antennes et de limites de pointage sur les stations de Terre. On peut s'attendre à ce que le brouillage global causé par les stations de Terre varie faiblement dans le temps, assurant ainsi que les critères de brouillage à long terme relativement rigoureux domineront le partage lorsque la méthode de l'Annexe I sera appliquée. Ces critères de partage ont été mis au point pour d'autres bandes sur la base d'hypothèses sur la répartition et les caractéristiques des stations de Terre.

* Voir également l'Appendice 7 du RR.

3 Distances de coordination

Les critères de partage entre stations terriennes mobiles et stations de Terre peuvent être mis au point conformément au concept de zone de protection. La forte variabilité dans le temps des affaiblissements de propagation sur les trajets des signaux de Terre nécessite en général que les critères de brouillage à court terme et à long terme soient tous deux appliqués. Des zones de coordination peuvent être calculées pour les stations terriennes mobiles à terre et de navire en utilisant la méthode de l'Appendice 7 au RR. Pour les stations terriennes d'aéronef, des zones de coordination peuvent être définies en utilisant des distances de coordination fondées sur les trajets de propagation en visibilité directe entre la station d'aéronef et la station de Terre. En admettant qu'une station terrienne d'aéronef puisse fonctionner à des altitudes atteignant 12 km, et que la réfraction de l'atmosphère donne un coefficient de rayon terrestre équivalent de $4/3$, les distances en visibilité directe seraient de 450 km et 900 km en ce qui concerne les autres stations au sol ou à bord d'un aéronef, respectivement. En tenant compte d'une réfraction atmosphérique un peu plus élevée, les distances de coordination pour les aéronefs devraient être estimées à 500 km et 1 000 km pour le partage avec les stations de Terre situées au sol et à bord d'aéronef, respectivement. Une étude complémentaire des distances de coordination est nécessaire.
