

RECOMMANDATION UIT-R SA.1015

RECHERCHE DANS L'ESPACE LOINTAIN: LARGEUR DE BANDE REQUISE

(Question UIT-R 209/7)

(1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les débits de symboles maximaux nécessaires aux télécommunications dans l'espace lointain dans les deux sens (espace-Terre et Terre-espace) ont été fixés pour un avenir prévisible (voir l'Annexe 1);
- b) qu'à l'aide des techniques actuellement disponibles, les largeurs de bande requises correspondantes ont été fixées;
- c) que la largeur requise des bandes attribuées est subordonnée aux impératifs propres à chaque liaison et au nombre de liaisons qui se trouvent simultanément dans l'ouverture de faisceau de l'antenne de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain;
- d) que, dans l'avenir, de nouvelles techniques permettront de réduire la largeur de bande nécessaire pour certaines fonctions de télécommunication associées à la recherche dans l'espace lointain,

recommande

1. que, pour l'attribution des bandes au service de recherche dans l'espace lointain, on tienne compte des contraintes liées à la largeur de bande (voir l'Annexe 1);
2. que l'on examine toutes les mesures réalisables propres à réduire la largeur de bande nécessaire aux futurs systèmes de télécommunication utilisés pour la recherche dans l'espace lointain.

ANNEXE 1

Recherche dans l'espace lointain: largeur de bande nécessaire**1. Introduction**

La largeur de bande totale nécessaire aux télécommunications dans l'espace lointain dépend des débits de symboles spécifiés, du nombre de liaisons spatiales utilisées dans chaque mission, du nombre de missions et des possibilités de partage des fréquences sans brouillage mutuel.

2. Largeur de bande des liaisons

Les largeurs de bande des liaisons Terre-espace et espace-Terre dépendent des contraintes liées aux débits de symboles associés aux télémesures ainsi que de la précision des mesures angulaires et des mesures de télémétrie.

Les débits de symboles nécessaires et les largeurs de bande correspondantes pour les différentes fonctions qu'on envisage d'exploiter pour la recherche dans l'espace lointain sont présentés sous forme synthétique dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

**Mission dans l'espace lointain: débits de symboles maximaux
et largeurs de bande maximales**

Sens et fonction	Débit de symboles (MS/s)	Largeur de bande (MHz)
Terre-espace		
Télécommande	0,002	0,040 ⁽¹⁾
Programmation des ordinateurs	0,2	1
Phonie	0,045	0,225
Télévision	100	500
Téléométrie	100	500
Espace-Terre		
Télémesure associée à la maintenance	0,2	1
Données scientifiques	10	50
Phonie	0,045	0,225
Télévision	100	500
Téléométrie	100	500

(1) En règle générale on utilisera une sous-porteuse.

La technique de navigation extrêmement précise faisant appel à l'interférométrie à très grande base exige la transmission de tonalités dont l'espacement en fréquence par rapport à la porteuse est très important. En règle générale, cet espacement peut varier dans un rapport compris entre 1/200 et 1/600 de la fréquence émise par l'engin spatial et la puissance relative de ces tonalités par rapport à celle de la porteuse est généralement de -15 dB. La transmission de ces tonalités ne sera pas continue. Par conséquent, en interférométrie à très grande base, l'espacement en fréquence des pics de ces tonalités ne doit pas être considéré comme un élément déterminant dans la définition de la largeur de bande requise.

La simplicité de conception des engins spatiaux, la fiabilité et les performances optimales des liaisons de télécommunication ont fait que la modulation de phase à deux états avec porteuse résiduelle est devenue la technique classique de transmission d'informations dans l'espace lointain. Pour transmettre une modulation carrée périodique avec un affaiblissement inférieur à 3 dB, la largeur de bande doit contenir le cinquième harmonique du signal carré modulant. Dans le cas d'un signal de télémesure, la largeur de bande doit être suffisante pour contenir le cinquième harmonique de la fréquence de la sous-porteuse et le cinquième harmonique de la fréquence d'horloge (1/2 du débit de symboles). Avec les techniques actuelles, la fréquence de la sous-porteuse doit être suffisamment élevée pour offrir au moins une période et demie de sous-porteuse par symbole. La largeur de bande maximale nécessaire est donc:

$$BW = 2 [(SR \times 1,5 \times 5) + 5 \times 0,5 SR] = 20 SR$$

où:

BW: largeur de bande

SR: débit de symboles.

Au fur et à mesure que les débits de symboles utilisés pour les télémesures augmentent, il est de moins en moins important que la sous-porteuse maintienne la puissance nécessaire pour transmettre les données en dehors de la plage d'action en fréquence de la boucle de verrouillage sur la porteuse. Cela s'explique par le fait que cette plage d'action représente une toute petite partie de la largeur de bande du spectre de transmission des symboles; la puissance nécessaire à la transmission des symboles, qui échappe à l'action de la boucle de verrouillage de phase sur la porteuse, devient alors négligeable. Avec un codage approprié, il est par ailleurs possible de réduire au strict minimum la puissance de transmission des symboles au voisinage de la fréquence porteuse, de sorte que les sous-porteuses ne sont plus nécessaires. La suppression des sous-porteuses ramène la largeur de bande totale requise à:

$$BW = 2 (5 \times 0,5 SR) = 5 SR$$

Les techniques actuelles de téléométrie font appel à la modulation à deux états en ondes carrées. La largeur de bande nécessaire pour transmettre le signal de téléométrie est déterminée par la fréquence de codage la plus élevée. On

considère généralement qu'une largeur de bande égale à 6 fois la fréquence de codage est acceptable. Pour certaines missions dans l'espace lointain, la largeur de bande maximale requise dépendra de considérations touchant à la précision de la télémétrie.

Etant donné qu'on utilisera dans l'avenir des débits de codage plus élevés pour la télémétrie et la télémétrie, il faudra peut-être réduire encore la largeur de bande spectrale transmise afin qu'un ou plusieurs engins spatiaux puissent utiliser la même bande. Il existe à cette fin plusieurs techniques, notamment la modulation par déplacement de phase quadrivalente et l'utilisation d'ondes à très faible puissance d'harmoniques.

La largeur de bande maximale requise pour une mission donnée dépend d'une part du débit total de symboles nécessaire à l'exécution simultanée de plusieurs fonctions et d'autre part de la technique de modulation retenue. La fonction «télémétrie» est généralement l'élément déterminant dans la spécification du débit de symboles maximal. Actuellement, la largeur de bande maximale requise pour un engin spatial non habité est de l'ordre de 6 MHz. Pour la fonction «interférométrie à très grande base», deux pics de fréquence espacés de 115 MHz par rapport à la fréquence porteuse peuvent être contenus dans le signal transmis. Compte tenu des exigences liées aux débits très élevés qui seront utilisés dans l'avenir, les largeurs de bande nécessaires pour la transmission pourront atteindre plusieurs centaines de mégahertz (voir le Tableau 1).

3. Largeur de bande nécessaire pour une mission

Certaines missions dans l'espace lointain font intervenir plusieurs engins spatiaux. A certains moments pendant la mission, il se peut que plusieurs engins spatiaux se trouvent simultanément dans l'ouverture de faisceau de l'antenne de la station terrienne. C'est le cas d'une mission pendant laquelle les engins spatiaux sont placés en orbite autour d'une planète. L'exploitation simultanée des liaisons de télécommunication exige alors une largeur de bande suffisante pour pouvoir transmettre tous les signaux sans brouillage mutuel.

Compte tenu des caractéristiques des missions types et des contraintes liées à l'exploitation simultanée de plusieurs liaisons – contraintes qui sont propres à chaque engin spatial – les futures missions dans l'espace lointain pourront être assurées avec une largeur de bande comprise entre 500 et 1 000 MHz.

4. Largeur de bande nécessaire pour plusieurs missions

Plusieurs missions dans l'espace lointain, vers différentes parties du système solaire, peuvent utiliser en partage les mêmes fréquences sauf pendant les périodes de brouillage mutuel. On peut observer ce type de brouillage pendant de brèves périodes, lorsqu'un engin spatial est proche de la Terre (la puissance du signal est alors très élevée) ou lorsque des engins spatiaux de différentes missions se trouvent dans l'ouverture du faisceau de l'antenne de la station terrienne. Il ressort d'une étude des missions en cours ou en projet que les périodes de brouillage mutuel sont suffisamment brèves pour que l'utilisation en temps partagé des liaisons de télécommunication permette d'éviter ce problème.

En conclusion, une largeur de bande comprise entre 500 et 1 000 MHz permettra de satisfaire tous les besoins liés aux missions futures dans l'espace lointain. Cette même largeur de bande convient pour des missions multiples.

5. Fiabilité des liaisons et utilisation des bandes attribuées

On précise dans ce paragraphe la largeur de bande maximale nécessaire aux activités de recherche dans l'espace lointain. Les attributions actuelles au voisinage des 2 et des 8 GHz ne permettent pas de satisfaire tous les besoins. Néanmoins, elles sont essentielles pour ces activités.

La plage de 10 MHz attribuée au voisinage des 2 GHz permet d'assurer des liaisons qui sont peu sensibles aux effets de la pluie et des nuages. La plupart des engins spatiaux actuels ou en projet disposent d'équipements fonctionnant dans cette plage, ce qui permet d'assurer du moins en partie le succès des missions lorsque des conditions atmosphériques défavorables rendent impossible l'utilisation de bandes de fréquences plus élevées.

Les missions actuelles utilisent essentiellement les 50 MHz attribués au voisinage des 8 GHz pour leurs opérations normales. Pour les missions où l'on n'a pas besoin des débits de symboles maximaux possibles, on continuera d'utiliser cette même largeur de bande pour les liaisons dans l'espace lointain.

Les 500 MHz attribués au voisinage des 32 GHz permettront d'obtenir dans l'avenir des liaisons à haute performance conformes aux spécifications indiquées dans le Tableau 1 concernant la largeur de bande maximale.