

RECOMMANDATION UIT-R SA.1015-1

Recherche dans l'espace lointain: largeur de bande requise

(1994-2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation indique la largeur de bande requise pour le service de recherche spatiale (espace lointain), dont il faut tenir compte pour l'attribution des bandes à ce service dans l'avenir. La base technique utilisée pour déterminer la largeur de bande requise est aussi expliquée.

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 vers Terre et Terre vers 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 requise

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 vers espace et espace vers 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 vers espace		
Télécommande	0,002	0,040 ⁽¹⁾
Programmation des ordinateurs	0,2	0,8
Phonie	0,045	0,18
Télévision	30	120
Télémétrie	100 ⁽²⁾	400
Espace vers Terre		
Télémesure associée à la maintenance	1,2 ⁽³⁾	4,8
Données scientifiques	600 ⁽⁴⁾	1 200 ⁽⁵⁾
Phonie	0,27 ⁽³⁾	1,08
Télévision	60 ⁽⁴⁾	240
Télémétrie	100 ⁽²⁾	400

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

⁽²⁾ Le MHz est l'unité utilisée pour la télémétrie par onde sinusoïdale et le Mélément/s (mégaélément par seconde) l'unité utilisée pour la télémétrie par pseudo-bruit.

⁽³⁾ Dans l'hypothèse de l'utilisation d'un code de correction d'erreur avec un taux de 1/6.

⁽⁴⁾ Dans l'hypothèse de l'utilisation d'un code de correction d'erreur avec un taux de 1/2.

⁽⁵⁾ Dans l'hypothèse de l'utilisation d'une modulation MDP-4.

La technique de navigation extrêmement précise faisant appel à l'interférométrie à très grande base (VLBI, *very long baseline interferometry*) 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 VLBI, 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 0,3 dB, la largeur de bande doit contenir le cinquième harmonique du signal carré modulant. Dans le cas d'un signal de télémétrie, la largeur de bande doit être suffisante pour contenir le cinquième harmonique de la fréquence de la sous-porteuse et deux fois et demie le 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 :

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

où :

BW : largeur de bande

SR : débit de symboles.

Au fur et à mesure que les débits de symboles utilisés pour les télémétries 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 :

$$BW = 2 (2SR) = 4SR$$

Pour des débits binaires élevés, la modulation MDP-4 peut être utilisée en vue de réduire de moitié la largeur de bande requise.

Les techniques actuelles de télémétrie font appel à des signaux d'horloge en ondes carrées ou en ondes sinusoïdales modulés en phase sur la porteuse. Pour certaines missions à venir, il est prévu d'utiliser la télémétrie par pseudo-bruit. La largeur de bande nécessaire pour obtenir une qualité de télémétrie acceptable est égale à quatre fois la fréquence d'horloge pour la télémétrie par onde sinusoïdale ou par onde carrée et à quatre fois le débit d'élément pour la télémétrie par pseudo-bruit. Auparavant la largeur de bande requise pour une mission dépendait essentiellement de la télémétrie. Compte tenu de l'augmentation rapide des débits de télémétrie nécessaires, la largeur de bande requise pour bon nombre de nouvelles missions ne dépend plus essentiellement de la télémétrie.

Etant donné qu'on utilisera dans l'avenir des débits très élevés pour la télémétrie, il faudra peut-être réduire encore la largeur de bande spectrale transmise afin que plusieurs engins spatiaux puissent utiliser la même bande. A cette fin plusieurs techniques peuvent être utilisées, notamment la modulation par déplacement minimal et d'autres techniques de modulation efficaces en termes de largeur de bande.

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. Actuellement, la largeur de bande maximale requise pour un engin spatial non habité est de l'ordre de 12 MHz. Pour la fonction VLBI, 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 des missions menées autour d'une planète

Lorsque plusieurs engins spatiaux gravitent autour d'une planète, ils se trouvent souvent dans l'ouverture de faisceau de l'antenne d'une station terrienne. 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 – de nombreuses missions dans l'espace lointain pourraient nécessiter une largeur de bande comprise entre 4 000 et 5 000 MHz, dans l'hypothèse où trois ou quatre missions utilisent simultanément un débit binaire maximal pour les données scientifiques. La largeur de bande totale peut être réduite sensiblement, éventuellement par un facteur de deux à quatre, si des techniques de modulation efficaces en termes de largeur de bande peuvent être appliquées dans l'avenir à des débits binaires élevés.

4 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 une largeur de bande supplémentaire pour les missions dans l'espace lointain, bien que cela ne soit pas conforme aux spécifications indiquées dans le Tableau 1 concernant la largeur de bande maximale requise pour les données scientifiques.