

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SA.364-6
(12/2018)

**Fréquences et largeurs de bande préférées
pour les satellites habités ou non du service
de recherche spatiale, proches de la Terre**

Série SA
Applications spatiales et météorologie



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2019

© UIT 2019

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R SA.364-6

Fréquences et largeurs de bande préférées pour les satellites habités ou non du service de recherche spatiale, proches de la Terre

(1963-1966-1970-1978-1986-1992-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne des indications concernant le choix de fréquences et de largeurs de bande pour les satellites habités ou non du service de recherche spatiale, proches de la Terre, parmi une liste de fréquences et de largeurs de bande préférées.

Mots clés

Fréquences et largeurs de bande préférées, service de recherche spatiale, proche de la Terre, habité, non habité

Recommandations et Rapports connexes

Recommandations UIT-R SA.363, UIT-R SA.1019, UIT-R SA.1863

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les fréquences appropriées et les largeurs de bande de fréquences radioélectriques requises pour les missions de la recherche spatiale au voisinage de la Terre sont déterminées par les facteurs de propagation des ondes radioélectriques et les exigences techniques;
- b) que des radiocommunications dans les deux sens doivent être assurées pour de nombreuses missions à proximité de la Terre et sont d'une importance vitale dans les missions faisant appel à des engins spatiaux habités;
- c) qu'il est nécessaire de respecter les exigences relatives à la fiabilité des radiocommunications lorsque les conditions atmosphériques sont défavorables;
- d) qu'il est pratique et souhaitable d'utiliser une seule liaison pour les fonctions de radiocommunication;
- e) que, pour la précision de la poursuite, il est nécessaire d'utiliser une paire de fréquences en relation cohérente pour les liaisons Terre vers espace et espace vers Terre;
- f) que, pour les opérations simultanées d'émission-réception avec une seule antenne, les fréquences appariées des liaisons Terre vers espace et espace vers Terre doivent être espacées d'au moins 6%;
- g) qu'il est nécessaire de recourir aux liaisons de radiocommunication espace-espace et Terre vers espace de satellites relais pour répondre à la croissance et à l'évolution des activités d'exploration au voisinage de la Terre du service de recherche spatiale;
- h) qu'il faudra peut-être utiliser des techniques particulières de modulation et de codage de canal pour certaines liaisons, afin de ne pas dépasser les limites de puissance surfacique ou de se prémunir contre les effets dus aux trajets multiples ou aux brouillages,

recommande

- 1 que, compte dûment tenu de l'objet de la liaison et de la faisabilité du partage, les bandes de fréquences utilisables par les missions au voisinage de la Terre du service de recherche spatiale soient choisies dans les gammes de fréquences préférées indiquées au Tableau 1;
- 2 que les informations relatives aux largeurs de bande de liaisons particulières types et leurs utilisations figurant dans le Tableau 2 de l'Annexe soient utilisées pour permettre d'assurer les télécommunications actuelles et futures au voisinage de la Terre avec plusieurs engins spatiaux et dans le cadre de missions multiples, au sein du service de recherche spatiale;
- 3 que les bandes de fréquences attribuées au service de recherche spatiale, les limites de puissance surfacique correspondantes et les utilisations types de ces bandes de fréquences, telles qu'indiquées dans la Pièce jointe de l'Annexe, soient prises en compte lors de la conception de systèmes de recherche spatiale.

Annexe

Fréquences et largeurs de bande préférées pour les satellites habités ou non du service de recherche spatiale, proches de la Terre

1 Introduction

La présente Recommandation donne des indications concernant les fréquences et les largeurs de bande préférées pour les satellites habités ou non du service de recherche spatiale, proches de la Terre. La Section 2 est consacrée aux différentes fonctions assurées par les communications du service de recherche spatiale, notamment les opérations de télécommande, de télémétrie et de poursuite. La Section 3 porte sur les bandes de fréquences utilisées lors des missions du service de recherche spatiale, y compris les exigences relatives aux missions et aux équipements, les phénomènes de propagation et de rayonnement, des considérations relatives à la qualité de fonctionnement des liaisons ainsi que les Recommandations UIT-R connexes. On trouvera dans la Section 4 des tableaux répertoriant les bandes de fréquences préférées et leurs utilisations, ainsi que les largeurs de bande de liaisons particulières types et leurs utilisations.

2 Opérations de communication et de poursuite dans le service de recherche spatiale et exigences techniques associées

Au niveau des engins spatiaux, les trois types de fonctions essentielles traités ci-après, à savoir les fonctions de télécommande, les fonctions de télémétrie et les fonctions de poursuite, sont dénommées fonctions d'exploitation spatiale. Dans une mission de recherche spatiale, les bandes de fréquences attribuées au service de recherche spatiale servent à assurer les fonctions d'exploitation spatiale et les fonctions de télémétrie associées à la mission proprement dite, le tout avec un seul système de radiocommunication. L'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques est alors plus efficace, et les besoins, consommation électrique, encombrement des éléments, poids, sont moins contraignants.

2.1 Fonctions

2.1.1 Transmissions de télécommande

Les transmissions de télécommande permettent de contrôler le satellite, d'activer diverses fonctions relatives à la mission ou de modifier l'exploitation de l'engin spatial lui-même ou de la charge utile, et enfin de remédier aux dysfonctionnements éventuels. Lors des opérations de lancement, la plupart des télécommandes sont enregistrées et exécutées par un séquenceur embarqué. Les télécommandes Terre vers espace sont transmises pour être exécutées en temps réel ou mises en mémoire pour application séquentielle ultérieure. Les télécommandes essentielles sont souvent transmises en deux étapes (une première télécommande pour configurer l'opération et une seconde télécommande pour l'exécuter), et, dans ce cas, les deux télécommandes doivent être reçues pour que l'opération puisse être exécutée.

2.1.2 Transmissions de télémétrie concernant l'engin spatial

Le sous-système de télémétrie de l'engin spatial communique des informations sur l'état des systèmes embarqués et de la charge utile, et communique les données de mesure rassemblées par les instruments de l'engin spatial à une station terrienne désignée. Le système précise également l'état de réception et d'exécution des télécommandes. Les données de télémétrie peuvent être mémorisées pour transmission ultérieure ou nécessiter une transmission en temps réel, dans le cas par exemple des opérations de lancement et des opérations d'urgence.

2.1.3 Transmissions de télémétrie concernant la mission

Le sous-système de télémétrie associé à la mission transmet vers la Terre les données scientifiques et les données techniques rassemblées par les systèmes expérimentaux et les capteurs actifs et passifs, ainsi que les données générées par l'engin spatial lui-même et sa charge utile (capteurs, modules d'atterrissage). Pour les missions habitées, le sous-système de télémétrie doit également transmettre des données audio et vidéo.

2.1.4 Poursuite

Les opérations de poursuite sont absolument essentielles pour toute mission de recherche spatiale. Les opérations de poursuite, qui permettent de rassembler les informations nécessaires pour déterminer le lieu et la vitesse de l'engin spatial, conditionnent également l'évaluation des performances de lancement et orbitales, les corrections de trajectoire, la détermination de la chronologie exacte des fonctions critiques, par exemple l'allumage des rétrofusées, et enfin la prévision des données de visibilité de l'engin spatial et donc le pointage de ses antennes, données requises aussi bien par l'engin spatial lui-même que par les stations terriennes.

3 Bandes de fréquences utilisées pour les missions de recherche spatiale

Divers facteurs déterminent les valeurs de fréquence convenant spécifiquement aux missions de recherche spatiale: cahiers des charges de la mission considérée, disponibilité et coût des équipements, considérations de propagation des ondes radioélectriques et de rayonnement, qualité de fonctionnement de la liaison, attributions de fréquences existantes au service de recherche spatiale. L'évolution des cahiers des charges des missions et les phénomènes physiques sont les éléments de base qui interviennent dans la définition des besoins de nouvelles attributions pour la recherche spatiale.

3.1 Exigences relatives aux missions

Dans les missions de recherche spatiale, il faut disposer d'un grand nombre de données pour les opérations de télécommande, de télémétrie et de poursuite. Pour les missions habitées, il faut également des données audio et vidéo en temps réel. Les données requises sont en général multiplexées sur une seule porteuse, ce qui permet d'utiliser le spectre avec efficacité.

En général, les largeurs de bande pouvant être utilisées sont d'autant plus importantes que les fréquences attribuées sont élevées. Avec une largeur de bande importante, on peut envisager à la fois des débits de données élevés, des communications vidéo et des systèmes de codage complexes qui permettent de réduire efficacement le taux d'erreur et la sensibilité aux brouillages.

Les fréquences peuvent être réutilisées entre les engins spatiaux si les caractéristiques orbitales et les impératifs de transmission permettent d'éviter des niveaux de brouillage excessifs, mais il faut prévoir des fréquences différentes lorsque les caractéristiques orbitales et les impératifs de transmission sont susceptibles d'être à l'origine de niveaux de brouillage excessifs.

Pour une poursuite précise, il faut prévoir une relation cohérente (taux de rotation adapté) entre les fréquences des signaux Terre vers espace et les fréquences des signaux espace vers Terre, et l'on y parvient en veillant à ce que la séparation en fréquence des liaisons aller et des liaisons retour soit comprise entre 6 et 10% des valeurs de fréquences les plus élevées.

Les bandes de fréquences convenant aux capteurs actifs et passifs dépendent des données recherchées quant aux caractéristiques de l'objet, à l'environnement spatial ou au phénomène spatial étudié. Les bandes de fréquences sont choisies en fonction des lois de la physique parmi les fréquences optimales pour les recherches scientifiques. Les largeurs de bande déterminent le degré de résolution et de précision des données pouvant être obtenu.

3.2 Exigences relatives aux équipements

Au niveau des équipements, certains facteurs qui dépendent de la fréquence soit ont une incidence directe sur la qualité de fonctionnement des liaisons (gain d'antenne, efficacité de l'antenne, précision de pointage) soit, sans se répercuter directement sur la qualité de la liaison, doivent être pris en compte dans le choix des fréquences. Pour des opérations d'émission et de réception simultanées avec une seule antenne, les bandes de fréquences appariées Terre vers espace et espace vers Terre doivent présenter un espacement correspondant à 6-7% de la fréquence supérieure au voisinage de la Terre et à 8-20% de la fréquence supérieure dans le cas des missions dans l'espace lointain.

Le diamètre des antennes d'engin spatial est limité par des limitations d'encombrement et de poids et des considérations techniques dans le cas des grandes antennes déployables, ainsi que par la capacité du satellite à pointer l'antenne avec la précision requise. La gamme de fréquences comprise entre 100 MHz et 1 GHz convient pour les engins spatiaux dotés d'antennes à large faisceau ou équidirectives et pour des transmissions à bande étroite, pour les stations terriennes simples sans antenne de poursuite. Dans la gamme de fréquences 1-10 GHz, les antennes d'engin spatial présentent des gains compatibles avec les impératifs de stabilisation d'attitude et d'orientation des faisceaux. Les valeurs de précision de surface et de précision de pointage requises pour les stations terriennes importantes peuvent également être respectées dans cette gamme, qui par ailleurs se prête à l'exploitation des systèmes de poursuite de précision et de communication à large bande.

La disponibilité de matériels adaptés à un fonctionnement dans l'espace pourrait constituer un facteur de limitation dans l'utilisation des fréquences élevées. A l'heure actuelle, les équipements de recherche spatiale les plus stables sont les équipements mis au point pour les bandes de fréquences des 2 GHz et des 7/8 GHz, essentielles pour obtenir des liaisons indépendantes des conditions météorologiques. Ce type d'équipement est également intéressant et facilement disponible pour les petits projets ou les missions de moindre importance, avec des débits de données peu élevés et des contraintes budgétaires. On disposera prochainement de matériels conçus pour les bandes de fréquences des 27/32/34 GHz, présentant l'avantage d'une largeur de bande disponible plus grande pour les engins spatiaux au voisinage de la Terre et dans l'espace lointain.

3.3 Phénomène de propagation et de rayonnement

Les liaisons de radiocommunication entre les stations terriennes et les satellites de recherche spatiale traversent l'atmosphère terrestre où les phénomènes d'absorption, de précipitation et de diffusion se répercutent sur la propagation des signaux de radiocommunication et limitent l'utilisation d'un certain nombre de bandes de fréquences. Les précipitations, et tout particulièrement la pluie, absorbent et dispersent les ondes radioélectriques et peuvent ainsi entraîner un important affaiblissement du signal. Quel que soit le taux de précipitation considéré, l'affaiblissement spécifique augmente fortement avec la fréquence utilisée jusqu'à environ 100 GHz, mais, au-delà de cette limite, ne s'accroît pas sensiblement en fonction de la fréquence. Pour les pays situés dans des régions très pluvieuses, le choix des fréquences est critique si l'on veut maintenir une qualité de fonctionnement élevée dans des conditions climatiques défavorables.

L'absorption moléculaire est essentiellement imputable à la vapeur d'eau et à l'oxygène de l'atmosphère. Les traces de gaz, en l'absence de vapeur d'eau, peuvent également être à l'origine d'un important affaiblissement aux fréquences supérieures à 70 GHz. Les raies d'absorption de la vapeur d'eau sont centrées sur 22,235 GHz, 183,3 GHz et environ 325 GHz. Les raies d'absorption de l'oxygène s'étendent de 53,5 à 65,2 GHz, et l'on relève par ailleurs une raie isolée centrée sur 118,74 GHz. A l'avenir, il pourra être souhaitable d'exploiter des stations relais géostationnaires fonctionnant à des fréquences relativement opaques à la transmission des signaux radioélectriques à travers l'atmosphère terrestre, ce qui permettra de limiter les brouillages entre ces stations relais et les engins spatiaux d'une part et les stations de Terre d'autre part.

La température de bruit du ciel, pour une antenne de station terrienne, est fonction de la fréquence, de l'angle d'élévation de l'antenne et des conditions atmosphériques. Au-dessus d'environ 4 GHz, les précipitations peuvent entraîner une augmentation du bruit du ciel plusieurs fois plus importantes que la température de bruit du récepteur. La température de bruit du ciel vue d'un engin spatial est déterminée avant tout par les corps célestes (Lune et planètes) qu'il faut prendre en compte dans la plupart des missions de recherche spatiale. Le Soleil, qui présente une température de rayonnement de corps noir de 6 000 K, augmente fortement la température de bruit des systèmes, de sorte que l'on évite généralement les transmissions pour lesquelles il faut pointer une antenne de réception vers le Soleil ou au voisinage de cette étoile. Les températures de rayonnement de corps noir de la Lune et des planètes sont comprises entre environ 50 et 700 K (celle de la Terre étant de 290 K). Dans de nombreuses missions au voisinage de la Terre, notre planète est généralement à l'intérieur du lobe principal de l'antenne de l'engin spatial ou de l'antenne du SRD considéré, et contribue à la température de bruit globale du système de réception. La température de bruit des systèmes des engins spatiaux type est comprise entre 600 et 1 500 K.

Les fréquences radioélectriques inférieures à 100 MHz ne sont généralement pas retenues pour la recherche spatiale en raison du fait que les phénomènes ionosphériques, les bruits cosmiques et les bruits artificiels sont autant d'obstacles à l'utilisation de ces fréquences. Entre 100 MHz et 1 GHz, l'absorption par l'atmosphère est peu importante et les conditions atmosphériques ont très peu d'effet sur la propagation du signal. Toutefois, le bruit de fond est relativement élevé, son importance étant fonction de l'inverse du carré de la fréquence, $1/f^2$, de sorte que l'utilisation de récepteurs à faible bruit ne donne pas d'amélioration sensible de la qualité de fonctionnement dans cette gamme de fréquences. Dans la gamme 1-10 GHz, l'effet des conditions atmosphériques est très faible, tout particulièrement dans la partie inférieure de cette gamme, et l'on peut donc envisager des communications pour ainsi dire indépendantes des conditions atmosphériques. Le bruit galactique et le bruit atmosphérique sont peu importants, ce qui permet d'utiliser des récepteurs à faible bruit. Au-dessus de 10 GHz et jusqu'à 275 GHz, la propagation des signaux dans l'atmosphère se fait dans des conditions de fort affaiblissement imputable essentiellement aux précipitations et à l'absorption par les gaz. Ces deux phénomènes ont une incidence significative sur les trajets de communication Terre vers espace.

3.4 Qualité de fonctionnement des liaisons

Dans une mission, la fiabilité des liaisons est un critère important. Les opérations critiques, telles que les opérations de lancement et les interventions d'urgence, pendant lesquelles il n'est pas possible de garantir l'orientation de l'engin spatial, imposent des liaisons extrêmement fiables. La fiabilité est également capitale pour toutes les missions habitées. Les attributions au service de recherche spatiale dans la bande des 2 GHz sont utilisées pour établir des liaisons fiables et indépendantes des conditions atmosphériques pour les missions de recherche spatiale, et ce sont ces attributions qui sont utilisées pour ces fonctions critiques.

L'identification des bandes de fréquences susceptibles d'offrir la meilleure qualité de fonctionnement pour les liaisons de communication et de poursuite dans la recherche spatiale est effectuée lors de l'analyse de la qualité de fonctionnement des liaisons et dépend des paramètres de propagation des ondes radioélectriques et des caractéristiques des équipements. On pourra adopter, comme indice de qualité de fonctionnement d'une liaison, le ratio de la puissance du signal reçu au ratio de puissance spectrale de bruit, P_r/N_0 . L'utilisation des courbes types établies à partir des analyses de qualité de fonctionnement des liaisons facilitera la détermination des gammes de fréquences offrant une qualité de fonctionnement optimale compte tenu du cahier des charges de la mission envisagée. Les différentes hypothèses possibles quant aux distances de communication, aux caractéristiques d'antenne et à la puissance des émetteurs, tout en modifiant bien évidemment les valeurs absolues du rapport P_r/N_0 , n'ont aucune incidence sur le profil des courbes. La bande de fréquences donnant la valeur la plus élevée du rapport P_r/N_0 compte tenu du système et des conditions de propagation considérés est par définition la bande de fréquences préférée.

3.5 Recommandations relatives aux attributions au service de recherche spatiale

Les attributions de bandes de fréquences à la recherche spatiale remontent à la Conférence administrative ordinaire des radiocommunications tenue à Genève en 1959, conférence à l'occasion de laquelle des attributions provisoires avaient été définies pour les transmissions entre la Terre et les satellites artificiels de la Terre dans les bandes de fréquences 136-137 MHz et 2 290-2 300 MHz. En 1963, la Conférence administrative extraordinaire des radiocommunications a confirmé ces deux attributions à la recherche spatiale en leur conférant le statut primaire au même titre que d'autres services et le statut exclusif dans la Région 2. A cette époque, la progression de la technologie de la recherche spatiale et des communications associées à la recherche spatiale, et la nécessité de répondre à des besoins de plus en plus rigoureux en matière de données, ont imposé l'attribution de bandes additionnelles devant répondre à la demande croissante relevée dans le service de recherche spatiale.

Les Recommandations UIT-R suivantes définissent les bandes de fréquences préférées pour le service de recherche spatiale:

- Recommandation UIT-R SA.363 – Systèmes d'exploitation spatiale.
- Recommandation UIT-R SA.1019 – Systèmes à satellites relais de données: bandes de fréquences préférées et sens de transmission.
- Recommandation UIT-R SA.1863 – Radiocommunications utilisées en situation d'urgence dans des vols spatiaux habités.

Un tableau complet contenant les attributions au service de recherche spatiale, de leurs utilisations par les systèmes de ce service et les limites de puissance surfacique correspondantes figure dans la Pièce jointe de la présente Annexe.

4 Bandes de fréquences préférées, leurs utilisations par les systèmes du service de recherche spatiale et largeurs de bande de liaisons particulières types et leurs utilisations

On obtient un débit de données maximal en utilisant les bandes de fréquences dans lesquelles P_r/N_0 est maximal, compte tenu des conditions météorologiques et des limitations applicables aux antennes des stations spatiales. Le Tableau 1 résume les bandes de fréquences préférées pour diverses applications. On a pris pour hypothèse une intensité de pluie élevée pour déterminer la largeur des bandes de fréquences «tout temps» afin que les résultats soient applicables dans le monde entier. Les bandes de fréquences extérieures à la gamme ainsi définie pourraient convenir dans des zones où les intensités de pluie sont plus faibles.

Les gammes de fréquences optimales pour les liaisons espace-espace sont celles où l'affaiblissement atmosphérique est élevé, car on n'a alors aucun problème de brouillages mutuels avec les installations des services de Terre.

Au-dessus d'environ 150 GHz, les communications transatmosphériques sont soumises à un degré élevé d'affaiblissement du signal lorsque l'angle de site est réduit. Toutefois, la gamme des fréquences supérieures à 150 GHz peut être envisagée pour des liaisons transatmosphériques lorsque l'angle de site est suffisamment important.

Les bandes de fréquences énumérées dans le Tableau 1 visent à identifier les gammes de fréquences préférées d'un point de vue technique. La présence d'une bande de fréquences dans ce Tableau ne signifie pas forcément qu'on disposera d'une marge ou d'une largeur de bande suffisante pour la liaison ou que ces fréquences ont été attribuées. De même, l'absence d'autres fréquences dans le Tableau n'exclut pas obligatoirement des opérations dans les bandes de fréquences correspondantes, si des considérations de partage des fréquences et les limitations imposées aux équipements actuels imposent l'utilisation de ces bandes.

TABLEAU 1

Bandes de fréquences préférées et leurs utilisations*

Gammes de fréquences (GHz)	Sens de transmission	Remarques
0,1-2,5 0,1-3,0	espace vers Terre Terre vers espace	Liaison «tout temps», optimale également quand des communications doivent être établies quelle que soit l'orientation de l'engin spatial.
0,1-10 0,1-10	espace vers Terre Terre vers espace	Liaison à utiliser par atmosphère claire, optimale dans les cas où l'engin spatial doit être équipé d'une antenne à ouverture de faisceau large ou fixe.
0,02-6 0,02-6	espace vers Terre Terre vers espace	Liaison «tout temps», utilisable avec des antennes directives.
0,02-6 13,4-27,5 31-36	espace-espace espace-espace espace-espace	Bandes de fréquences nécessaires pour assurer des communications espace-espace avec les équipements et les techniques spatiaux existants et éprouvés. Nécessaires également pour assurer la continuité du service jusqu'à ce que d'autres bandes de fréquences se révèlent pratiquement et techniquement utiles.

TABLEAU 1 (*fin*)

Gammes de fréquences (GHz)	Sens de transmission	Remarques
10-26 14-23 31-36 40-41 31-36 37-38 74-84 85-100 127-137	espace vers Terre Terre vers espace Terre vers espace Terre vers espace espace vers Terre espace vers Terre espace vers Terre Terre vers espace et espace vers Terre Terre vers espace et espace vers Terre	Liaison utilisable par atmosphère claire, optimale pour les engins spatiaux équipés d'une antenne à gain élevé ou moyen.
65-66 117-120 178-188 318-328	espace-espace espace-espace espace-espace espace-espace	Bandes de fréquences assurant une protection maximale des liaisons espace-espace, par atmosphère claire, contre les brouillages causés par les systèmes de Terre, optimales pour des antennes d'engin spatial à gain élevé ou moyen.

* Les bandes de fréquences particulières pour les systèmes du service de recherche spatiale doivent être utilisées conformément aux attributions existantes dont bénéficie ce service (voir la Pièce jointe de l'Annexe).

Les largeurs de bande de liaisons particulières types énumérées dans le Tableau 2 sont accompagnées d'informations concernant les largeurs de bande de liaisons utilisables dans l'état actuel de la technique. La présence d'une largeur de bande de liaison dans le Tableau n'indique pas forcément la bande de fréquences dans laquelle la liaison particulière doit être effectuée; elle ne doit pas limiter non plus le nombre des liaisons pouvant être nécessaires pour assurer le fonctionnement d'un engin spatial particulier ou d'un système de mission quelconque.

TABLEAU 2

Largeurs de bande de liaisons particulières types et leurs utilisations

Type d'utilisation	Sens de transmission	Largeur de bande type	Remarques
Télécommande	Terre vers espace	10-500 kHz	
Télémesure de maintenance	espace vers Terre	5-500 kHz	
Télémesure	espace vers Terre (direct)	100 kHz-100 MHz	Transmission directe d'un satellite vers la Terre
Télémesure	espace vers Terre (relais)	225-650 MHz	Liaison d'un satellite relais vers une station terrienne, données venant d'un ou plusieurs satellites utilisateurs
Télémesure	espace-espace	5-225 MHz	Liaison d'un satellite utilisateur vers un satellite relais
Télémesure	espace-espace	> 1 GHz	Liaison d'un satellite relais vers un satellite relais
Poursuite	espace vers Terre	500 Hz-500 kHz	Interférométrie
Poursuite	Terre vers espace	1-3 MHz	Systèmes de mesure de distance et de vitesse radiale
Poursuite	Terre vers espace	1-10 MHz	Radar
Poursuite	Terre vers espace	5-6 MHz	Mesure de distance par bilatération

Pièce jointe de l'Annexe

TABLEAU 3

Bandes de fréquences attribuées au service de recherche spatiale, limites de puissance surfacique correspondantes, conformément au Règlement des radiocommunications (édition de 2016), et utilisation de ces bandes de fréquences par les systèmes du service de recherche spatiale

Bandes de fréquences		Utilisation	Limite de puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence (θ) au-dessus du plan horizontal (dBW/m ²) ⁽¹⁾			Largeur de bande de référence
			$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$	
2 501-2 502	kHz	Non spécifique				
5 003-5 005	kHz	Non spécifique				
10 003-10 005	kHz	Non spécifique				
15 005-15 010	kHz	Non spécifique				
18 052-18 068	kHz	Non spécifique				
19 990-19 995	kHz	Non spécifique				
25 005-25 010	kHz	Non spécifique				
30,005-30,01	MHz	Non spécifique				
39,986-40,02	MHz	Non spécifique				
40,98-41,015	MHz	Non spécifique				
137-138	MHz	espace vers Terre				
138-143,6	MHz	espace vers Terre				
143,6-143,65	MHz	espace vers Terre				
143,65-144	MHz	espace vers Terre				
400,15-401	MHz	espace vers Terre				
410-420	MHz	espace-espace				
1 215-1 300	MHz	Téledétection active				
2 025-2 110	MHz	Terre vers espace, espace-espace	-154	$-154 + 0,5 (\theta - 5)$	-144	4 kHz
2 200-2 290	MHz	espace vers Terre, espace-espace	-154	$-154 + 0,5 (\theta - 5)$	-144	4 kHz
3 100-3 300	MHz	Téledétection active				
7 190-7 235	MHz	Terre vers espace				
8 450-8 500	MHz	espace vers Terre	-150	$-150 + 0,5 (\theta - 5)$	-140	4 kHz
8 550-8 650	MHz	Téledétection active				
9 300-9 800	MHz	Téledétection active				
9 800-9 900	MHz	Téledétection active				
13,25-13,4	GHz	Téledétection active				
13,4-14,3	GHz	Téledétection active				
14,4-14,47	GHz	espace vers Terre				
14,5-15,35	GHz	Non spécifique				

TABLEAU 3 (fin)

Bandes de fréquences		Utilisation	Limite de puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence (θ) au-dessus du plan horizontal (dBW/m ²) ⁽¹⁾			Largeur de bande de référence
			$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$	
17,2-17,3	GHz	Téledétection active				
22,55-23,55	GHz	espace-espace	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
22,55-23,15	GHz	Terre vers espace				
25,25-27,5	GHz	espace-espace	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
25,5-27	GHz	espace vers Terre	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
31-31,3	GHz	Non spécifique	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
34,7-35,2	GHz	Non spécifique	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
35,5- 36	GHz	Téledétection active				
37-38	GHz	espace vers Terre, non OSG	-120	$-120 + 0,75 (\theta - 5)$	-105	1 MHz
37-38	GHz	espace vers Terre, OSG	-125	$-125 + (\theta - 5)$	-105	1 MHz
40-40,5	GHz	Terre vers espace				
65-66	GHz	Non spécifique				
74-84	GHz	espace vers Terre				
94-94,1	GHz	Téledétection active				

⁽¹⁾ Les cellules vides correspondent à des valeurs non disponibles.