

Recommandation UIT-R SA.1016-1
(08/2019)

Service de recherche spatiale (espace lointain): considérations relatives au partage des fréquences

Série SA
Applications spatiales et météorologie

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 <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre 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

(Également disponible en ligne: <https://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 radiopéage 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	Émissions 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.1016-1*

Service de recherche spatiale (espace lointain): considérations relatives au partage des fréquences

(1994-2019)

Champ d'application

On trouvera dans la présente Recommandation des considérations relatives au partage des fréquences en ce qui concerne le service de recherche spatiale (espace lointain) dans les bandes de fréquences 2 110-2 120 MHz, 2 290-2 300 MHz, 7 145-7 190 MHz, 8 400-8 450 MHz, 31,8-32,3 GHz et 34,2-34,7 GHz.

Mots clés

Partage des fréquences, espace lointain, stations terriennes du service de recherche spatiale, stations spatiales du service de recherche spatiale

Recommandations et Rapports pertinents de l'UIT-R

Recommandations UIT-R SA.509, UIT-R SA.684, UIT-R SA.1014, UIT-R SA.1015, UIT-R SA.1157

Rapport UIT-R SA.2066

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a)* que les possibilités de partage des fréquences entre des stations du service de recherche spatiale (espace lointain) et des stations d'autres services sont exposées dans les Annexes 1 et 2;
- b)* que les stations terriennes du service de recherche spatiale (espace lointain) peuvent causer des brouillages préjudiciables aux stations de réception du service mobile aéronautique, aux stations spatiales de réception et aux capteurs passifs en hyperfréquences qui se trouvent en visibilité directe;
- c)* que les stations terriennes du service de recherche spatiale (espace lointain) peuvent causer des brouillages préjudiciables aux stations de réception du service mobile qui ne sont pas séparées par une distance suffisante;
- d)* que les émissions à forte puissance des stations de Terre peuvent brouiller les stations spatiales du service de recherche spatiale (espace lointain), en particulier lorsque les stations spatiales sont exploitées au voisinage de la Terre;
- e)* que les stations terriennes du service de recherche spatiale (espace lointain) peuvent subir des brouillages préjudiciables causés par des stations d'émission du service mobile aéronautique, des stations spatiales d'émission et des capteurs actifs en hyperfréquences qui se trouvent en visibilité directe;
- f)* que les stations terriennes du service de recherche spatiale (espace lointain) peuvent subir des brouillages préjudiciables causés par des stations d'émission du service mobile qui ne sont pas séparées par une distance suffisante;
- g)* que les stations spatiales du service de recherche spatiale (espace lointain) peuvent nuire aux stations du service de radioastronomie,

* La Commission d'études 7 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2023 conformément aux dispositions de la Recommandation UIT-R 1.

recommande

1 que, sous réserve qu'une coordination opérationnelle ait été menée à bien, le service de recherche spatiale (espace lointain) devrait pouvoir utiliser en partage des bandes de fréquences dans le sens Terre vers espace avec des stations des services bénéficiant déjà d'attributions dans la même bande, à l'exception toutefois des stations suivantes avec lesquelles le partage n'est pas possible:

- les stations de réception du service mobile aéronautique, les stations spatiales de réception et les satellites avec capteurs en hyperfréquences, lorsque ces stations et satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
- les stations de réception des services mobiles qui se trouvent en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages;
- les stations d'émission de Terre ayant une p.i.r.e. moyenne supérieure à 82 dBW dans les bandes au voisinage de 2 GHz, à 85 dBW dans les bandes au voisinage de 7 GHz, et à 84 dBW dans les bandes au voisinage de 34 GHz (voir la Note 1);

2 que, sous réserve qu'une coordination opérationnelle ait été menée à bien, le service de recherche spatiale (espace lointain) devrait pouvoir utiliser en partage des bandes de fréquences dans le sens espace vers Terre avec des stations des services bénéficiant déjà d'attributions dans la même bande, à l'exception toutefois des stations suivantes avec lesquelles le partage n'est pas possible:

- les stations d'émission du service mobile aéronautique, les stations spatiales d'émission et les satellites avec capteurs actifs en hyperfréquences, lorsque ces stations et satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
- les stations d'émission des services mobiles qui se trouvent en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages;
- les stations du service de radioastronomie;

3 que la note ci-dessous soit considérée comme faisant partie de la présente Recommandation.

NOTE – Pour les émetteurs du service fixe et du service mobile, l'Article 21 du Règlement des radiocommunications de l'UIT définit des limites de p.i.r.e. largement inférieures.

Annexe 1

Service de recherche spatiale (espace lointain): considérations relatives au partage des fréquences

1 **Considérations relatives au partage des fréquences dans les bandes de fréquences attribuées au service de recherche spatiale (espace lointain) dans le sens Terre vers espace**

Dans le Règlement des radiocommunications (RR) de l'UIT, les bandes de fréquences 2 110-2 120 MHz, 7 145-7 190 MHz et 34,2-34,7 GHz sont identifiées en vue d'être utilisées par le service de recherche spatiale (espace lointain) dans le sens Terre vers espace. En outre, la bande de fréquences 16,6-17,1 GHz est identifiée comme étant attribuée à titre secondaire en vue d'être utilisée par le service de recherche spatiale (espace lointain). Dans le Tableau 1 et les sous-sections suivantes, on étudie le risque de brouillage causé au service de recherche spatiale (espace lointain) dans ces bandes de fréquences.

TABLEAU 1
Risque de brouillage dans le sens Terre vers espace

Source	Récepteur
Station terrienne de recherche dans l'espace lointain	Station de Terre ou terrienne
Station terrienne de recherche dans l'espace lointain	Satellite sur orbite terrestre
Station de Terre ou terrienne	Station spatiale de recherche dans l'espace lointain
Satellite à proximité de la Terre	Station spatiale de recherche dans l'espace lointain

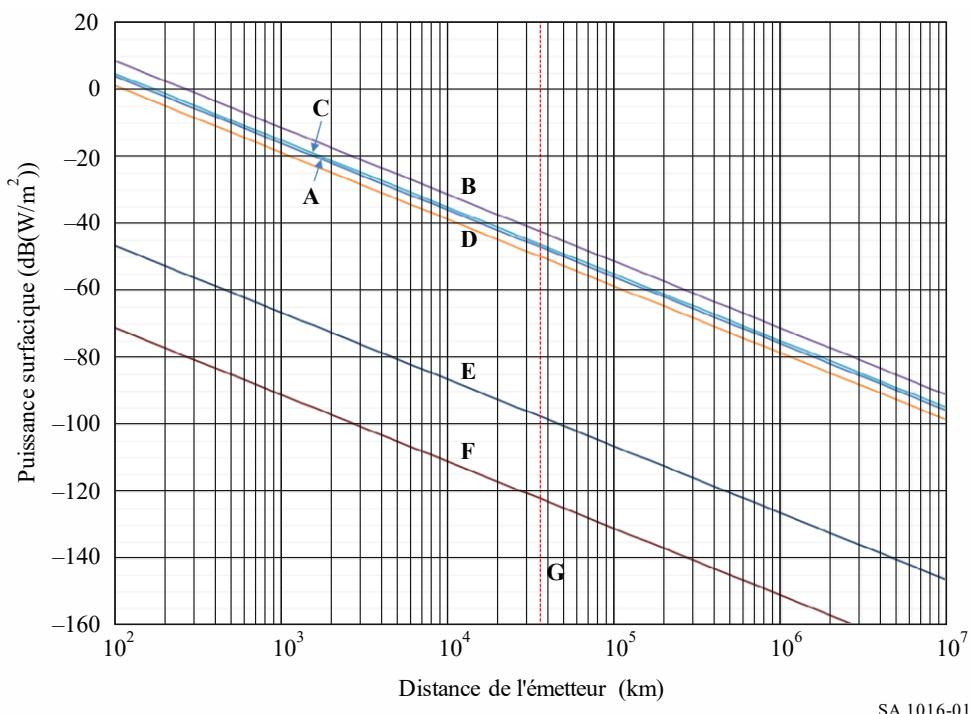
1.1 Risque de brouillage des récepteurs de Terre/d'aéronef ou des récepteurs de station terrienne par des émetteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain

La puissance totale d'émission des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain est normalement de 43 dBW dans les bandes de fréquences des 2 GHz et des 7 GHz, et de 30 dBW dans la bande de fréquences des 34 GHz (voir la Recommandation UIT-R SA.1014). Pour un angle d'élévation minimal de 10 degrés, la p.i.r.e. en direction de l'horizon ne dépasse pas 50 dB(W/4 kHz) dans les bandes de fréquences des 2 GHz et des 7 GHz, et 37 dB(W/4 kHz) dans la bande de fréquences des 34 GHz, si l'on se fonde sur le diagramme de rayonnement de référence donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 pour une antenne de station terrienne. Par conséquent, la p.i.r.e. en direction de l'horizon satisfait aux limites indiquées aux numéros **21.10** et **21.11** du RR. Pour des puissances d'émission supérieures des stations terriennes du service de recherche spatiale, les angles d'élévation doivent être augmentés en conséquence afin de satisfaire aux limites de p.i.r.e. en direction de l'horizon définies dans le RR.

Dans la zone de visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain, la puissance surfacique totale au niveau d'une station d'aéronef peut prendre les valeurs indiquées à la Fig. 1 ci-dessous. Pour un aéronef volant à 12 km d'altitude, la distance maximale de visibilité directe jusqu'à une station terrienne est de 391 km. Dans ce cas, en prenant pour hypothèse une puissance d'émission de la station terrienne de 100 kW et un gain de l'antenne d'émission de -10 dBi (Recommandation UIT-R SA.509), la puissance surfacique totale au niveau de l'aéronef ne peut donc jamais être inférieure à -83 dB(W/m²). À mesure que la distance de séparation et la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne évoluent, la puissance surfacique et l'intensité du brouillage au niveau de la station d'aéronef peuvent être bien plus élevées. Par conséquent, une coordination avec les stations d'aéronef n'est généralement pas possible en pratique.

FIGURE 1

Puissance surfacique en fonction de la distance par rapport à la station terrienne du service de recherche spatiale



SA.1016-01

Émetteur: station terrienne de recherche dans l'espace lointain, diamètre d'antenne 70 m

- A: faisceau principal, 34,5 GHz, 1 kW
- B: faisceau principal, 17 GHz, 10 kW
- C: faisceau principal, 7 170 MHz, 20 kW
- D: faisceau principal, 2 115 MHz, 100 kW
- E: 5° par rapport à l'axe principal (gain 14,5 dBi, Recommandation UIT-R SA.509), 2 115 MHz, 100 kW
- F: > 48° par rapport à l'axe principal (gain -10 dBi, Recommandation UIT-R SA.509), 2 115 MHz, 100 kW
- G: altitude de l'orbite des satellites géostationnaires: 35 800 km

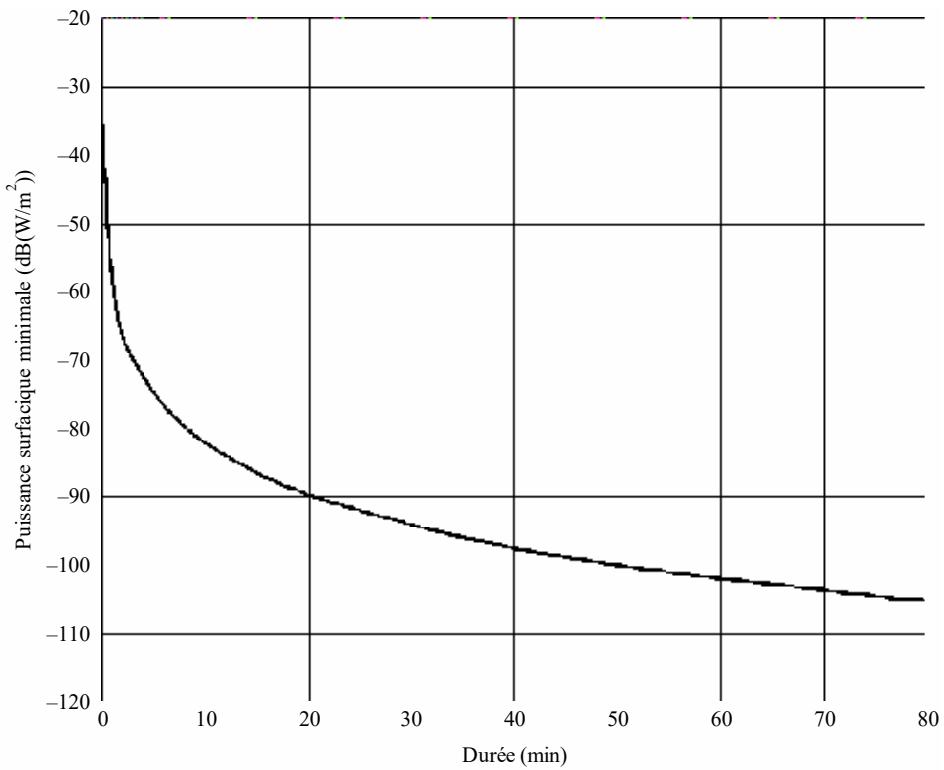
Par ailleurs, les mécanismes de propagation liés à la superréfraction, au phénomène de conduits et à la diffusion par les précipitations peuvent faire que les signaux émis par des émetteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain sont transmis jusqu'à des récepteurs de Terre et des récepteurs d'autres stations terriennes. Toutefois, sauf dans le cas des récepteurs de Terre installés à bord d'aéronefs, la coordination dans ces cas est en règle générale possible. Pour le brouillage par des émetteurs d'aéronef, voir le § 2.3 et pour les considérations relatives à la coordination, voir le § 3.

1.2 Risque de brouillage des récepteurs de satellite par les émetteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain

La puissance surfacique au niveau des satellites qui se trouvent dans le faisceau d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain prendra les valeurs indiquées à la Fig. 1. Lorsque la station terrienne poursuit un engin spatial dont la direction est telle que le faisceau de l'antenne coupe l'orbite des satellites géostationnaires (OSG), la puissance surfacique en ce point de l'orbite variera en fonction du temps selon la courbe de la Fig. 2. Ainsi, la puissance surfacique totale sera par exemple de -95 dB(W/m²) ou plus pendant 32 minutes. Les données de la figure reposent sur l'hypothèse suivante: émetteur d'une puissance de 50 dBW, antenne de 70 m et diagramme de rayonnement de référence de la Recommandation UIT-R SA.509 pour l'antenne de la station terrienne. Une observation importante est que la puissance surfacique minimale sur l'OSG, en visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain, est d'au moins -122 dB(W/m²), quelle que soit la direction de pointage de l'antenne.

FIGURE 2

Durée pendant laquelle la puissance surfacique peut, en un point de l'orbite des satellites géostationnaires, dépasser une valeur minimale



SA.1016-02

Émetteur: station terrienne de recherche dans l'espace lointain, 100 kW, diamètre d'antenne 70 m, 34,5 GHz

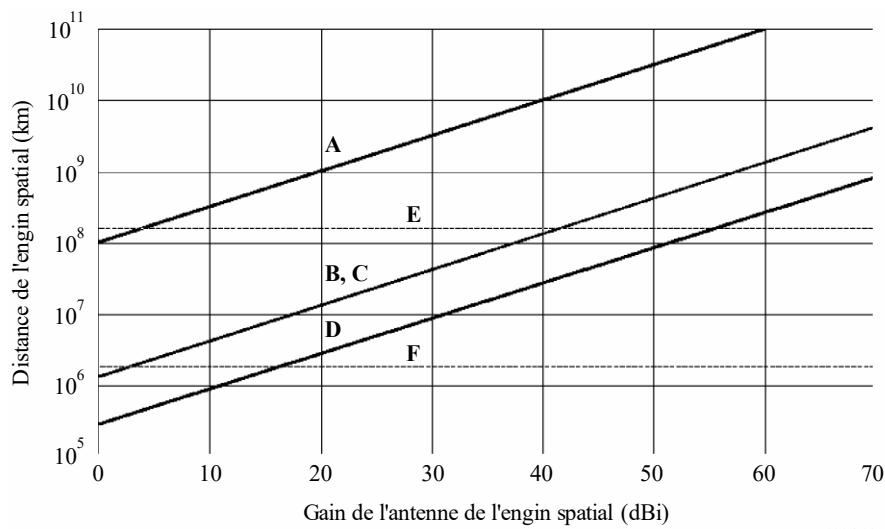
De plus, la durée et l'intensité des signaux émis par les stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, qui peuvent brouiller des satellites non géostationnaires, dépendent des orbites de ces satellites et de la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne.

1.3 Risque de brouillage des récepteurs de station spatiale de recherche dans l'espace lointain par des émetteurs de Terre ou des émetteurs de station terrienne

Les émetteurs de Terre ou les émetteurs de station terrienne situés en visibilité directe d'une station spatiale de recherche dans l'espace lointain sont des sources potentielles de brouillage. La Figure 3 indique la distance de la station spatiale à laquelle la densité de puissance brouilleuse d'un tel émetteur est égale à la densité de puissance de bruit du récepteur.

FIGURE 3

Distance d'un engin spatial par rapport à un émetteur de Terre, pour laquelle la puissance du signal brouilleur est égale à la puissance de bruit du récepteur



SA.1016-03

- A: émetteur transhorizon: 2 115 MHz p.i.r.e.: 93 dB (W/10 kHz) puissance de bruit du récepteur: -191 dB (W/20 Hz)
- B: émetteur de radiolocalisation: 34,5 GHz p.i.r.e.: 48,8 dB (W/Hz) puissance de bruit du récepteur: -182,6 dB (W/20 Hz)
- C: émetteur de radiolocalisation: 17 GHz p.i.r.e.: 40,9 dB (W/Hz) puissance de bruit du récepteur: -186 dB (W/20 Hz)
- D: émetteur de faisceaux hertziens: 7 170 MHz p.i.r.e.: 55 dB (W/10 kHz) puissance de bruit du récepteur: -189 dB (W/20 kHz)
- E: 1 AU = $1,5 \times 10^8$ km
- F: limite intérieure de l'espace lointain: 2×10^6 km

Ainsi, une station transhorizon ayant une p.i.r.e. de 93 dB(W/10 kHz) dans la bande des 2,1 GHz pourrait brouiller un récepteur de station spatiale à des distances allant jusqu'à $4,1 \times 10^9$ km (pour une température de bruit de 600 K et une antenne de l'engin spatial de 3,7 m). Le fait qu'un brouillage soit possible à des distances aussi grandes pose des problèmes pour les missions spatiales dans des régions aussi lointaines que la planète Uranus. Les stations ayant une p.i.r.e. plus faible, ou dont les antennes sont dirigées hors du plan de l'écliptique, présentent moins de risques en tant que sources de brouillage.

1.4 Risque de brouillage des récepteurs de station spatiale de recherche dans l'espace lointain par des émetteurs de satellite sur orbite terrestre

Les antennes de satellite sur orbite terrestre sont généralement pointées vers la Terre ou vers d'autres satellites. Les récepteurs de station spatiale de recherche dans l'espace lointain peuvent être brouillés pendant les brèves périodes où l'antenne est orientée de manière à permettre le couplage du faisceau principal. Les signaux provenant des satellites tels qu'ils seront reçus par les stations spatiales de recherche dans l'espace lointain seront habituellement plus faibles que ceux reçus en provenance des stations terriennes.

2 Considérations relatives au partage de bandes dans le sens espace vers Terre

Dans le Règlement des radiocommunications, les bandes de fréquences 2 290-2 300 MHz, 8 400-8 450 MHz et 31,8-32,3 GHz sont identifiées en vue d'être utilisées par le service de recherche spatiale (espace lointain) dans le sens espace vers Terre. En outre, la bande de fréquences 37-38 GHz est identifiée en vue d'être utilisée par le service de recherche spatiale, sans que cette utilisation ne soit limitée à l'espace lointain ou au voisinage de la Terre, et la bande de fréquences 12,75-13,25 GHz est identifiée comme étant attribuée à titre secondaire en vue d'être utilisée par le service de recherche

spatiale (espace lointain). Dans le Tableau 2 et les sous-sections suivantes, on étudie le risque de brouillage causé au service de recherche spatiale (espace lointain) dans ces bandes de fréquences.

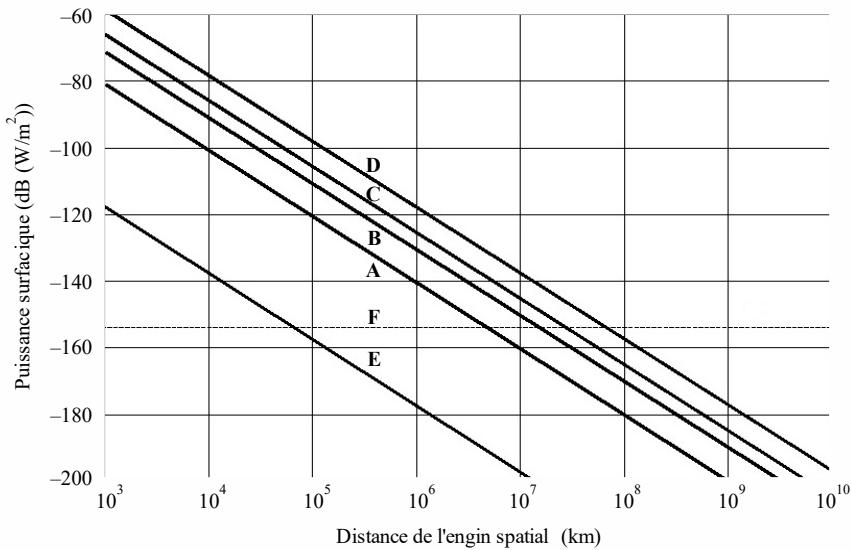
TABLEAU 2
Risque de brouillage dans le sens espace vers Terre

Source	Récepteur
Station de recherche dans l'espace lointain	Station terrienne ou de Terre
Station spatiale de recherche dans l'espace lointain	Satellite sur orbite terrestre
Station terrienne ou de Terre	Station terrienne de recherche dans l'espace lointain
Satellite sur orbite terrestre	Station terrienne de recherche dans l'espace lointain

2.1 Risque de brouillage des récepteurs de station de Terre ou terrienne par les émetteurs de station spatiale de recherche dans l'espace lointain

La Figure 4 indique la puissance surfacique à la surface de la Terre produite par des stations spatiales types de recherche dans l'espace lointain. Ces stations utilisent normalement des antennes à large faisceau et à faible gain tant qu'elles sont à proximité de la Terre. Ainsi, six heures au plus après le lancement, elles sont habituellement à une distance suffisante pour que la puissance surfacique à la surface de la Terre soit inférieure à la valeur maximale admise par le Règlement des radiocommunications pour la protection des faisceaux hertziens en visibilité directe.

FIGURE 4
Puissance surfacique à la surface de la Terre en fonction de la distance de l'engin spatial



SA.1016-04

- A: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 37 dBi, 2 295 MHz
- B: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 48 dBi, 8 425 MHz
- C: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 52 dBi, 13 GHz
- D: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 60 dBi, 32 GHz
- E: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 0 dBi
- F: puissance surfacique: -154 dB(W/m²), bande des 2 GHz, numéro **21.16** (Tableau **21-4**) du RR

Note: Conformément au Tableau **21-4** du RR, les limites de puissance surfacique sont de -154 dB (W/m²) dans la bande de fréquences $2,2\text{--}2,3$ GHz, -150 dB (W/m²) dans la bande de fréquences $8,4\text{--}8,5$ GHz, -120 dB (W/m²) dans la bande de fréquences $31,8\text{--}32,5$ GHz et dans la bande de fréquences $37\text{--}38$ GHz pour les satellites non OSG du service de recherche spatiale et de -125 dB (W/m²) dans la bande de fréquences $37\text{--}38$ GHz pour les satellites OSG du service de recherche spatiale.

Lorsque la station spatiale d'émission utilise une antenne directive à gain élevé, il y a un risque de brouillage pour les récepteurs de Terre à grande sensibilité, si les antennes de ces récepteurs sont orientées de manière à permettre le couplage du faisceau principal. Une station spatiale fonctionnant à 2,3 GHz avec une p.i.r.e. de 51 dBW, à une distance de 5×10^8 km, pourrait soumettre un récepteur transhorizon (antenne de 27 m, faisceau principal) à un signal brouilleur de -168 dBW. La durée de ce brouillage serait de l'ordre de quelques minutes une fois par jour, du fait de la rotation de la Terre.

2.2 Risque de brouillage des récepteurs de satellite sur orbite terrestre par les émetteurs de station spatiale de recherche dans l'espace lointain

Les caractéristiques de ce brouillage sont les mêmes que dans le cas station spatiale-récepteur de Terre (voir à cet effet le § 2.1), sauf en ce qui concerne la géométrie du trajet. Un brouillage occasionnel de courte durée peut se produire lorsque cette géométrie varie.

2.3 Risque de brouillage des récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain par des émetteurs de Terre ou des émetteurs de station terrienne

Les récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain peuvent être brouillés par des stations terriennes ou de Terre par transmission en visibilité directe ou par diffusion troposphérique ou diffusion par les précipitations. Voir le § 3 pour les considérations relatives à la coordination.

Les services de Terre utilisant des émetteurs à grande puissance et des antennes à gain élevé sont des sources potentielles de brouillage. Les émetteurs de station terrienne sont des sources de brouillage moins probables; la probabilité dépend de la p.i.r.e. en direction de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Des mesures de coordination devraient permettre d'assurer une protection suffisante à l'égard des stations de faisceaux hertziens.

Les émetteurs d'aéronef situés en visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain peuvent causer des brouillages préjudiciables. À titre d'exemple, le Tableau 3 indique les niveaux de dépassement par le brouillage reçu des niveaux de densité spectrale de puissance maximale autorisés pour une station terrienne de recherche dans l'espace lointain de référence. Dans les calculs effectués pour ce Tableau, on prend pour hypothèse un aéronef volant à 12 km d'altitude avec une distance maximale en visibilité directe de 391 km et émettant une p.i.r.e. de -26 dB(W/Hz), calculée en utilisant 10 dB(W/4 kHz), et un gain d'antenne de 0 dBi. Dans ces calculs, on suppose que l'antenne de la station terrienne de référence a un gain de -10 dBi et on prend en considération uniquement les affaiblissements en espace libre.

TABLEAU 3
Brouillage causé par un émetteur d'aéronef donné

Fréquence (GHz)	Densité spectrale de puissance de brouillage maximale admissible (dB(W/Hz))	Densité spectrale de puissance du brouillage reçu provenant de l'aéronef (dB (W/Hz))	Niveaux de dépassement par le brouillage de la densité spectrale de puissance maximale admissible ⁽¹⁾ (dB)
2,3	-222	-187,5	334,5
8,4	-221	-198,8	222,2
13	-220	-202,6	117,4
32	-217	-210,4	66,6
37	-217	-211,7	5,3

⁽¹⁾ Densité spectrale de puissance du brouillage reçu provenant de l'aéronef moins la densité spectrale de puissance maximale de brouillage de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain.

Les émetteurs de radionavigation installés à bord d'aéronefs pouvant fonctionner dans la région des 32 GHz constituent un exemple particulier de sources possibles de brouillage préjudiciable causé à des récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Cette catégorie d'émetteurs présente une grande variété de caractéristiques en termes de puissance de sortie, de signaux en ondes entretenues/modulation par impulsions/modulation de fréquence linéaire, et d'antennes fixes/à balayage à faisceaux étroits ou larges. La probabilité et l'intensité du brouillage d'un émetteur donné peuvent être déterminées au cas par cas. Toutefois, on constate habituellement que si un émetteur de radionavigation installé à bord d'un aéronef est situé en visibilité directe du récepteur d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain, le niveau de brouillage maximal admissible peut être dépassé pendant une durée suffisamment longue pour provoquer une dégradation du service ou, pire, une interruption du service.

Par conséquent, la coordination avec les stations d'aéronef n'est généralement pas possible en pratique.

2.4 Risque de brouillage des récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain par les émetteurs de satellite sur orbite terrestre

On trouvera dans l'Annexe 2 une analyse du risque de brouillage dans la bande 2 290-2 300 MHz dû à des satellites évoluant sur des orbites à forte excentricité. La conclusion est que le partage n'est pas possible en pratique. Cette conclusion est également valable pour les satellites évoluant sur des orbites circulaires et à excentricité modérée.

2.5 Risque de brouillage des récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain par des satellites en orbite autour de la Terre émettant vers un satellite relais géostationnaire

Le Tableau 4 présente les paramètres relatifs à une liaison entre un engin spatial utilisateur et un satellite relais de données (SRD) géostationnaire qui frôle la surface de la Terre à proximité de l'emplacement d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain. On suppose que le faisceau principal de l'antenne de la station terrienne pointe à différents angles d'élévation et que le satellite utilisateur passe à travers le faisceau principal.

TABLEAU 4

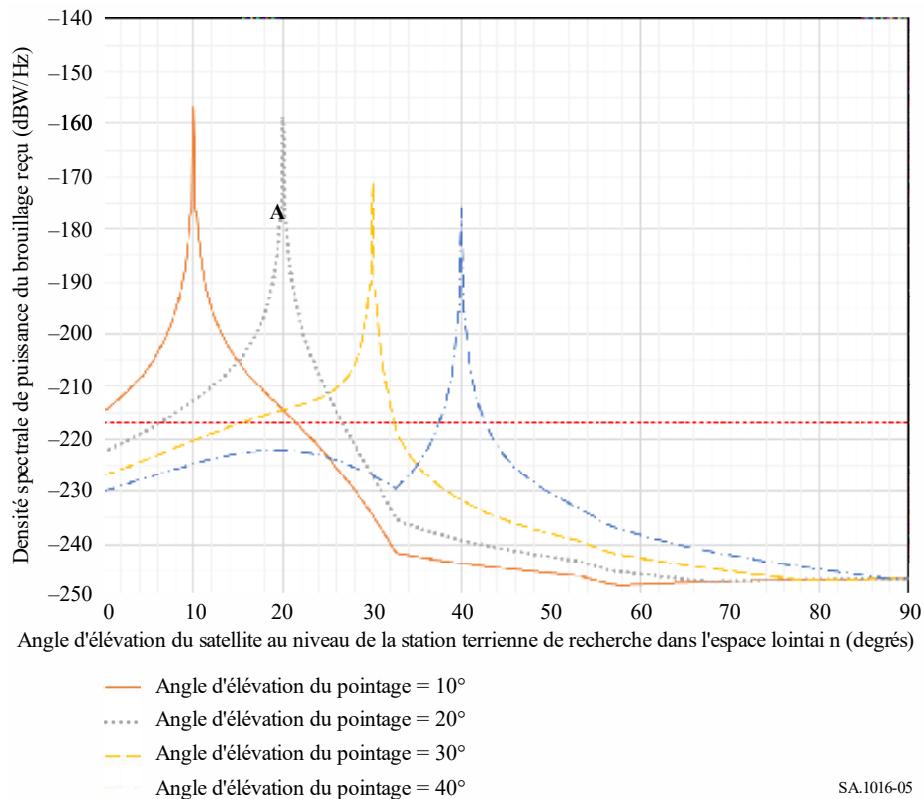
Paramètres relatifs à une liaison entre un satellite relais et une station terrienne de recherche dans l'espace lointain (2 290 MHz)

Altitude du satellite utilisateur SRD (km)	1 000
Puissance de l'émetteur (dBW)	1-7,0
Largeur de bande de l'émetteur (MHz)	10
Diamètre d'antenne de l'émetteur (m)	1
Gain d'antenne de l'émetteur	Recommandation UIT-R S.672
Diamètre de l'antenne de station terrienne (m)	70
Gain d'antenne de la station terrienne	Recommandation UIT-R SA.509
Critère de brouillage préjudiciable (dB(W/Hz))	-217

La Figure 5 illustre la densité spectrale de puissance du brouillage reçu pour le pointage de l'antenne de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain à différents angles d'élévation. La figure montre que, dans tous les cas, il existe des intervalles de l'angle d'élévation du satellite pour lesquels le brouillage reçu dépasse le critère de protection du récepteur de la station terrienne.

FIGURE 5

Densité spectrale de puissance du brouillage reçu pour le pointage de l'antenne d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain à des angles d'élévation de 10, 20, 30 et 40 degrés



Pour ramener la densité spectrale de puissance du brouillage au-dessous du niveau de protection du récepteur de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain, le satellite utilisateur SRD doit s'écartier d'au moins $2,6^\circ$ de l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne, sachant que l'angle de séparation effectivement requis dépend de l'angle d'élévation du pointage de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Ainsi, si cette station poursuit un engin spatial au niveau de Mars, le satellite utilisateur SRD dont les paramètres sont donnés dans le Tableau 4 coupe alors le faisceau à moins de $2,6^\circ$ de son axe et à une fréquence comprise entre deux fois par jour et une fois tous les 3 jours. Dans ce cas, la période de l'orbite du satellite est de 105 minutes et celui-ci peut causer des brouillages dépassant le critère de protection de la station terrienne pendant une durée comprise entre 0,6 minutes et 4,6 minutes. La fréquence et la durée des brouillages dépendent des paramètres de l'orbite du satellite.

Si dans certains services radioélectriques, une durée de brouillage inférieure à 1 minute n'a que peu d'importance, cette durée peut provoquer dans le service de recherche spatiale une perte de données scientifiques irremplaçables, et ce, pendant plusieurs minutes. (Voir le § 1.1).

L'analyse présentée ci-dessus envisage seulement le cas d'un satellite utilisateur unique et d'une seule station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Un nombre plus important de satellites augmenterait la probabilité de brouillage. On peut en conclure que le partage des bandes entre le service de recherche spatiale (espace lointain) et les liaisons qui relient des engins spatiaux et des satellites relais géostationnaires n'est pas possible.

SA.1016-05

3 Discussion

3.1 Intersections d'orbites de satellites et de faisceaux d'antennes de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain

La probabilité pour qu'un satellite se trouve dans le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain influe fortement sur la possibilité de partage des bandes entre les liaisons en question.

On a analysé les statistiques sur le pointage des antennes pour tout un ensemble de missions dans l'espace lointain. On a constaté que le gain de l'antenne de la station terrienne dans la direction de l'OSG sera de 10 dBi ou plus pendant 20% du temps.

Les satellites non géostationnaires peuvent traverser chaque jour un ou plusieurs faisceaux de poursuite dans l'espace lointain. Des précisions sur les statistiques de visibilité et les durées de séjour dans le faisceau pour les satellites sur orbite basse sont données dans le Rapport UIT-R SA.2066.

3.2 Coordination et partage

Du fait de la p.i.r.e. très élevée et de l'extrême sensibilité des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, les zones de coordination ont habituellement des dimensions exceptionnelles.

Le partage avec des stations en visibilité directe de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain n'est pas possible. Les stations situées en visibilité directe causeront en effet un brouillage préjudiciable aux récepteurs des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, à moins qu'elles ne subissent un brouillage préjudiciable de la part des émetteurs desdites stations. Il convient de noter que les stations du service mobile aéronautique et les satellites en orbite terrestre se trouvent fréquemment en visibilité directe de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain.

Le partage des bandes attribuées dans le sens Terre vers espace à la recherche dans l'espace lointain avec des stations utilisant une p.i.r.e. moyenne élevée n'est pas possible en raison du risque de causer un brouillage aux stations dans l'espace lointain. On considère actuellement que les stations dont la p.i.r.e. est inférieure d'au moins 30 dB à celle appliquée ou prévue pour les stations terriennes de recherche spatiale ne posent pas de problème important. Typiquement, cela signifie que la p.i.r.e. moyenne ne dépasse pas 82 dBW dans la bande des 2 GHz, 85 dBW dans la bande des 7 GHz et 84 dBW dans la bande des 34 GHz, sachant que la p.i.r.e. à l'émission de la station terrienne du service de recherche spatiale est de 112 dBW dans la bande des 2 GHz, de 115 dBW dans la bande des 7 GHz, et de 114 dBW dans la bande des 34 GHz (voir la Recommandation UIT-R SA.1014).

4 Conclusions

Les critères et considérations exposés dans cette Annexe permettent de tirer les conclusions suivantes.

4.1 Partage des bandes dans le sens Terre vers espace

Sous réserve d'une coordination réussie, le service de recherche spatiale (espace lointain) devrait pouvoir partager des bandes dans le sens Terre vers espace avec des stations des services bénéficiant déjà d'attributions dans la même bande, à l'exception des stations suivantes avec lesquelles le partage n'est pas possible:

- les stations mobiles aéronautiques de réception, les stations spatiales de réception et les satellites avec capteurs en hyperfréquences, lorsque ces stations ou ces satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
- les stations mobiles de réception qui peuvent se trouver en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages; et

- les stations d'émission de Terre utilisant une p.i.r.e. moyenne supérieure à 82 dBW dans les bandes de fréquences au voisinage de 2 GHz, à 85 dBW dans les bandes de fréquences au voisinage de 7 GHz et à 84 dBW dans les bandes de fréquences au voisinage de 34 GHz.

Il convient de noter que, pour les émetteurs du service fixe et du service mobile, l'Article 21 du Règlement des radiocommunications définit des limites de p.i.r.e. largement inférieures.

4.2 Partage des bandes dans le sens espace vers Terre

Sous réserve d'une coordination réussie, le service de recherche spatiale (espace lointain) devrait pouvoir partager des bandes dans le sens espace vers Terre avec des stations des services bénéficiant déjà d'attributions dans la même bande, à l'exception des stations suivantes avec lesquelles le partage n'est pas possible:

- les stations mobiles aéronautiques d'émission, les stations spatiales d'émission et les satellites avec capteurs actifs en hyperfréquences, lorsque ces stations ou ces satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
- les stations mobiles d'émission qui peuvent se trouver en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages; et
- les stations du service de radioastronomie.

Annexe 2

Possibilité de partage entre des satellites du service de recherche spatiale sur des orbites elliptiques et des stations terriennes du service de recherche spatiale (espace lointain)

1 Introduction

La présente Annexe a pour objet de décrire des situations de brouillage potentiel entre des engins spatiaux fonctionnant sur des orbites hautement elliptiques et des stations terriennes du service de recherche spatiale partageant la bande de fréquences 2 290-2 300 MHz.

On trouvera une liste complète des emplacements des stations terriennes du service de recherche spatiale et des caractéristiques de système pertinentes applicables à ces stations dans la Recommandation UIT-R SA.1014. Ces stations assurent une communication bidirectionnelle entre la Terre et des engins spatiaux évoluant à des distances lunaires ou planétaires. Cette communication suppose de recourir à des activités de poursuite, de télémesure, de télécommande, de suivi et de contrôle des opérations.

Le Tableau 5 indique les emplacements des trois principales stations terriennes appartenant au réseau de recherche dans l'espace lointain (DSN), qui serviront d'exemple dans la présente étude. Afin d'assurer un contact radio permanent avec l'engin spatial, ces trois stations terriennes ont été placées de façon à être espacées d'environ 120 degrés en longitude, afin qu'une station au moins se trouve en permanence dans le champ de vision de l'engin spatial. De plus, étant donné que lors des missions dans l'espace lointain, la plupart des engins spatiaux suivent des orbites à 30 degrés au plus du plan équatorial, ces trois stations se trouvent à 45 degrés au plus au nord ou au sud de l'équateur.

TABLEAU 5

Emplacements des principales stations terriennes du réseau de recherche dans l'espace lointain (DSN)

Lieu	Diamètre du réflecteur de l'antenne (m)	Rayon géocentrique (km)	Latitude géocentrique (degrés)	Longitude géocentrique (degrés)
États-Unis d'Amérique (Goldstone)	70	6 371,993	35,24435	243,11408
Australie (Canberra)	70	6 371,709	-35,22123	148,98128
Espagne (Madrid)	70	6 370,019	40,24099	355,15119

Dans la mesure où les grandes distances, propres aux communications dans l'espace lointain, entraînent des affaiblissements du signal allant de 200 à 300 dB, le bon fonctionnement du réseau DSN nécessite de pouvoir recevoir et amplifier des signaux de très faible intensité. Pour ce faire, on utilise des récepteurs très sensibles caractérisés par une faible température de bruit, une grande stabilité et une capacité de réception bande étroite et large bande.

Du fait de ses besoins opérationnels, le réseau DSN est plus vulnérable aux brouillages que la majorité des autres systèmes de communication. Les risques de brouillages causés au réseau DSN qui sont examinés dans la présente Annexe se limitent à une situation de partage de bande entre le réseau DSN et un engin spatial du service de recherche spatiale fonctionnant sur une orbite hautement elliptique dans la bande de fréquences 2 290-2 300 MHz attribuée au service de recherche spatiale.

2 Critère de brouillage

Les emplacements du réseau DSN utilisés dans le cadre de la présente étude sur les brouillages correspondent aux trois antennes de 70 mètres situées à Goldstone, à Madrid et à Canberra. Concernant les brouillages causés à ces emplacements, tout signal large bande ou tout spectre de bruit entraînerait une dégradation du rapport signal/bruit du récepteur et aurait des incidences tant sur la boucle à verrouillage de phase de poursuite de la porteuse que sur les canaux de données. Dans ce cas, la densité spectrale du signal brouilleur doit être inférieure d'au moins 6 dB à la densité spectrale du bruit du système du récepteur, afin de ne pas entraîner une dégradation de plus de 1 dB au niveau du récepteur (voir la Recommandation UIT-R SA.1157). Avec une température de bruit du système à 2 GHz de 16 K, la densité spectrale de bruit du récepteur correspondante est donnée par kT ou par:

$$10 \log k + 10 \log T = -216,6 \text{ dB (W/Hz)} \quad \text{à 2 GHz}$$

En utilisant le critère de signal de brouillage de 6 dB, la densité spectrale de puissance de brouillage maximale admissible ne doit pas dépasser -222,6 dB (W/Hz) à 2 GHz à l'étage d'entrée du récepteur.

Compte tenu de la nature du fonctionnement des antennes du réseau DSN (qui sont en général utilisées pour la poursuite d'un horizon à l'autre dans le plan écliptique) et de la fonction non linéaire de la vitesse relative de l'engin spatial par rapport au temps, tout modèle statistique cherchant à décrire le couplage hors axe entre les antennes de l'engin spatial et du réseau DSN est dépassé par le nombre de variantes des paramètres. Pour cette raison, dans cette analyse, on suppose que le gain d'antenne du réseau DSN est représenté par une réponse isotrope de 0 dB. Cette hypothèse constitue un compromis entre un gain supérieur à 0 dBi pour des angles hors axe compris entre 0 degré et 19 degrés et un gain inférieur à 0 dBi pour des angles hors axe supérieurs à 19 degrés (voir la Recommandation UIT-R SA.509).

En partant de cette hypothèse, la surface équivalente de l'antenne isotrope du réseau DSN de 0 dB est donnée par:

$$A_r = \lambda^2/4\pi \quad \text{ou} \quad A_r = 0,08 \lambda^2 \quad (1)$$

où λ est la longueur d'onde considérée.

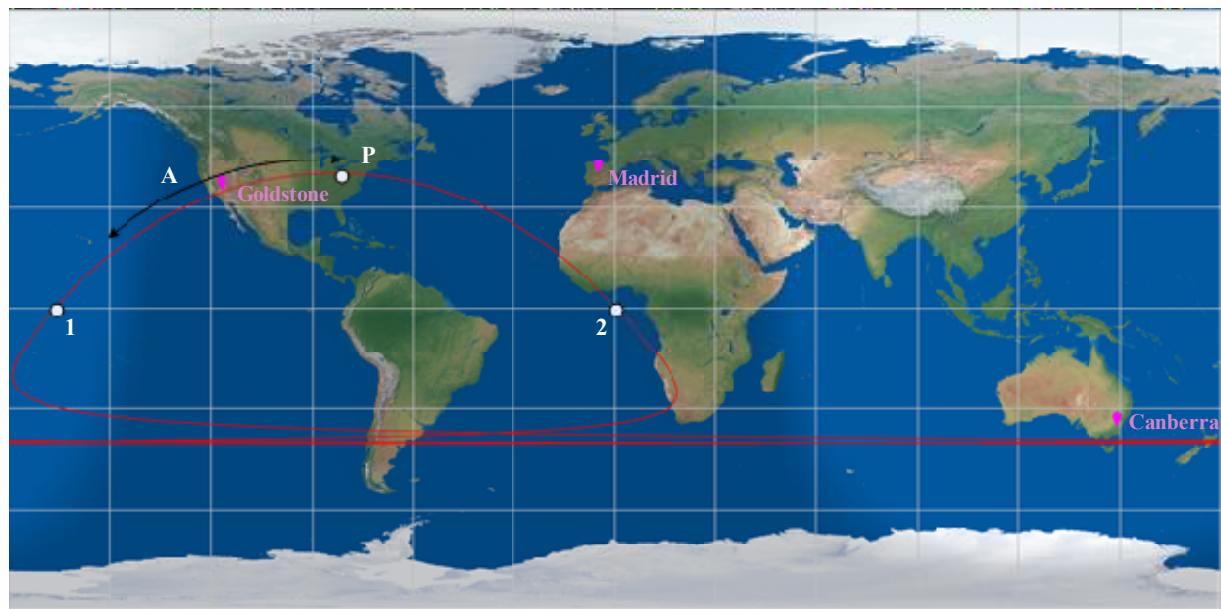
Pour la bande de fréquences des 2,3 GHz (longueur d'onde = 13 cm), on obtient une surface équivalente de l'antenne de $-28,6$ dB (m^2); ou, dans le cas d'une utilisation avec le critère de densité spectrale de puissance de brouillage à l'étage d'entrée de $-222,6$ dB (W/Hz), on obtient une puissance surfacique maximale d'environ -194 dB ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$).

3 Caractéristiques de l'orbite et de l'émetteur de l'engin spatial

Pour les besoins de la présente étude, on est parti du principe que l'orbite de l'engin spatial hautement elliptique est une orbite géosynchrone de quatre jours, c'est-à-dire que l'engin spatial passe au-dessus du même point tous les quatre jours sidéraux. Pour ce faire, l'orbite de l'engin spatial est supposée avoir un apogée de 199 445 km et un périgée de 300 km. En outre, une inclinaison de 40 degrés a été utilisée. Afin de visualiser l'orbite par rapport à la Terre, la Fig. 6 montre la position de l'engin spatial projetée sur la Terre pour un nœud ascendant donné de 65 degrés et pour un argument du périgée de 90 degrés. À titre d'exemple, on a choisi de considérer la station au sol de Goldstone (indiquée par un astérisque*). La Figure 6 présente les positions de l'engin spatial pour lesquelles la station se trouve en visibilité directe. Afin d'indiquer les vitesses relatives concernant cette orbite hautement elliptique, la Fig. 6 indique deux points de chaque côté du périgée P. Le temps nécessaire pour aller du point 1 au point 2 est d'environ 54 minutes. Quant au temps nécessaire pour parcourir le reste de l'orbite, il est d'environ 5 690 minutes, d'où un rapport du temps passé au-dessus de l'équateur de moins de 1%.

FIGURE 6

Trajectoire au sol de l'orbite et visibilité par rapport à la station de Goldstone (argument du périgée = 90 degrés, nœud ascendant = 65 degrés)



SA.1016-01

P: périgée, A: visibilité

On a pris pour hypothèse les caractéristiques suivantes pour l'émetteur de l'engin spatial: une puissance d'émission de 6 W, un gain d'antenne de -2 dB, un spectre d'émission de 100 kHz, et un facteur de crête spectrale de 10 dB. En outre, on est parti du principe que l'engin spatial émet en continu (c'est-à-dire que le programme a calculé uniquement les moments où, si l'engin spatial devait émettre avec un gain d'antenne de -2 dB dans toutes les directions, la puissance surfacique à la surface de la Terre dépasserait les niveaux seuils de brouillage du réseau DSN).

Les caractéristiques de l'orbite et de l'émetteur de l'engin spatial aux fins de l'étude mentionnée ci-dessus sont reproduites dans le Tableau 7 ci-dessous.

TABLEAU 7
Paramètres de l'orbite et de l'émetteur de l'engin spatial

Apogée	199 455 km
Périgée	300 km
Inclinaison	40°
Argument du périgée	90° et 270° (périgée nord et périgée sud)
Longitude du nœud ascendant	-180° à 180°
Engin spatial	
Puissance	6 W
Gain	-2 dB omnidirectionnel
Largeur de bande	100 kHz
Facteur de crête spectrale	10 dB

4 Résultats et conclusions

La Figure 7 présente les résultats pour une orbite de l'engin spatial ayant un argument du périgée de 90 degrés (périgée nord), et la Fig. 8 indique les résultats pour un argument du périgée de 270 degrés (périgée sud). Ces deux figures donnent le pourcentage de temps pendant lequel le critère de densité spectrale de puissance de brouillage de $-222,6$ dB (W/Hz) à l'étage d'entrée du récepteur du réseau DSN est dépassé, en fonction de la longitude orbitale du nœud ascendant. Les valeurs sont comprises entre 0 – aucun brouillage n'est causé à certaines stations au niveau de nœuds ascendants donnés – et des valeurs d'environ 1,6% sur l'orbite.

En particulier, il convient de conclure au vu de ces données que pour une inclinaison de 40 degrés, il n'existe pas de nœud ascendant au niveau duquel l'engin spatial pourrait être mis sur orbite, et pour lequel des brouillages ne seraient pas causés à un emplacement du réseau DSN au moins. En effet, pour la majorité des nœuds ascendants, des brouillages dépassant les niveaux autorisés seraient causés aux trois stations au sol du réseau DSN. À la lumière de cette observation, et compte tenu des paramètres de l'orbite et de l'engin spatial pris pour hypothèse dans la présente analyse, le partage entre le réseau DSN et un engin spatial sur orbite hautement elliptique fonctionnant dans la bande de fréquences 2 290–2 300 MHz attribuée au service de recherche spatiale n'est pas jugé possible.

FIGURE 7
Niveaux de brouillage pour un argument du périgée de 90 degrés

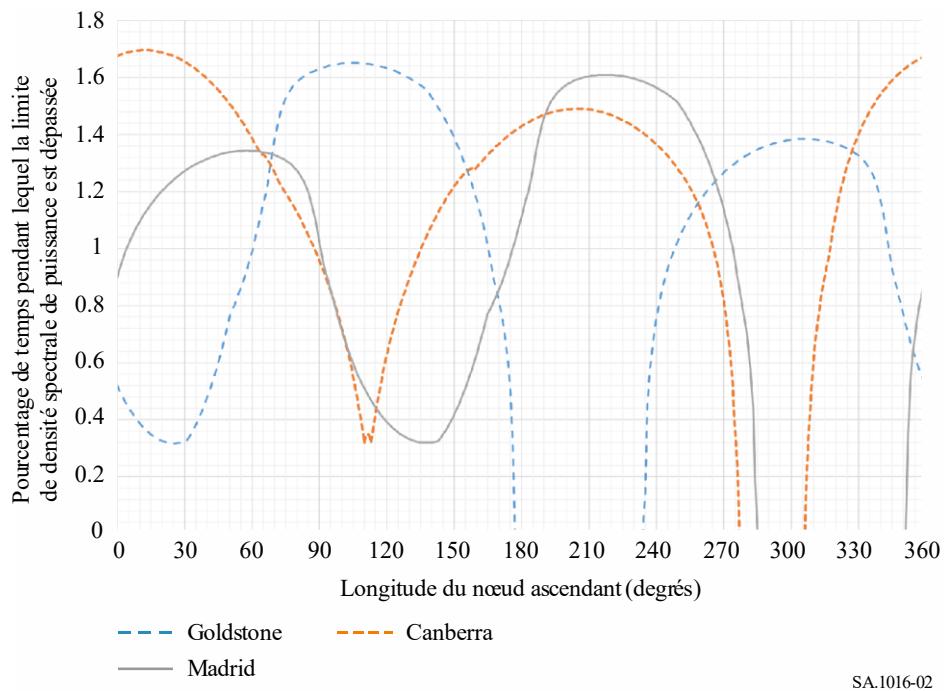


FIGURE 8
Niveaux de brouillage pour un argument du périgée de 270 degrés

