

RECOMMANDATION UIT-R S.1341*

PARTAGE ENTRE LES LIAISONS DE CONNEXION (ESPACE-TERRE) DU SERVICE MOBILE PAR SATELLITE ET LE SERVICE DE RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE DANS LA BANDE 15,4-15,7 GHz ET PROTECTION DU SERVICE DE RADIOASTRONOMIE DANS LA BANDE 15,35-15,4 GHz

(Question UIT-R 242/4)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'aux termes de la Résolution 116 (CMR-95) de la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995), l'UIT-R est invité à étudier les conditions de partage entre les liaisons de connexion (espace-Terre) du service mobile par satellite (SMS) et le service de radionavigation aéronautique dans la bande 15,4-15,7 GHz;
- b) que la bande 15,4-15,7 GHz est attribuée à titre primaire au service de radionavigation aéronautique et que le numéro 953 (S4.10) du Règlement des radiocommunications (RR) s'applique;
- c) que la CMR-95 a ajouté une attribution au service fixe par satellite dans cette bande pour les liaisons de connexion (espace-Terre) des réseaux SMS à satellites non géostationnaires (non OSG);
- d) que les besoins des liaisons de connexion (espace-Terre) des systèmes à satellites non OSG doivent être satisfaits dans cette bande;
- e) que les signaux émis par les satellites peuvent causer des brouillages inacceptables aux stations du service de radionavigation aéronautique;
- f) que, conformément au numéro S5.511A du RR, des limites de puissance surfacique ont été fixées pour les signaux émis par les stations spatiales de systèmes à satellites non OSG afin de protéger le service de radionavigation aéronautique, ces limites pouvant faire l'objet de révisions par l'UIT-R;
- g) que la coordination entre les systèmes à satellites émetteurs et les stations de radionavigation aéronautiques est considérée comme irréalisable;
- h) que les signaux émis par les stations de radionavigation aéronautique et se propageant à la surface de la Terre peuvent causer des brouillages inacceptables aux stations terriennes de liaison de connexion;
- j) qu'il faut des méthodes permettant de déterminer les distances de coordination et de séparation nécessaires entre les stations terriennes de liaison de connexion et les stations de radionavigation aéronautique afin de protéger les premières;
- k) que, conformément au numéro S5.511B du RR, les stations d'aéronef ne sont pas autorisées à émettre dans la bande 15,45-15,65 GHz;
- l) que le service de radionavigation aéronautique utilise de manière assez extensive cette bande pour des stations aéroportées, terrestres et maritimes;
- m) que les caractéristiques techniques et opérationnelles des stations de radionavigation aéronautiques sont raisonnablement bien définies;
- n) que les caractéristiques techniques et opérationnelles des liaisons de connexion ne sont pas définies correctement;
- o) que, dans cette plage de fréquences, les systèmes à satellites n'opèrent pas, en général, avec des antennes de station terrienne à faible angle d'élévation;
- p) que des études ont été faites au sujet du § o;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 7 et 8 des radiocommunications.

- q) que la bande adjacente 15,35-15,4 GHz est attribuée au service de radioastronomie et à d'autres services passifs et qu'il est nécessaire d'assurer une protection contre les brouillages préjudiciables causés par les signaux émis par les stations spatiales (voir le numéro S5.511A du RR);
- r) que, conformément au numéro S5.340 du RR, toutes les émissions de signaux sont interdites dans la bande 15,35-15,4 GHz, à l'exception de celles prévues au numéro S5.341 du RR;
- s) que la Recommandation UIT-R RA.769 donne des seuils de brouillages préjudiciables pour le service de radioastronomie,

recommande

- 1** de limiter les liaisons de connexion du SMS à la bande 15,43-15,63 GHz (Note 1);
- 2** de faire en sorte que, quelles que soient les conditions et les méthodes de modulation, la puissance surfacique des signaux émis à la surface de la Terre par les liaisons de connexion d'un système spatial à satellites non OSG ne dépasse pas, à titre provisoire, les valeurs données au § 2.1 correspondant à la condition énoncée au § 2.2 (Note 2);
- 2.1** de prendre note des limites ci-après, mentionnées au § 2, applicables dans la bande de fréquences 15,43-15,63 GHz, où φ désigne l'angle d'incidence (degrés) au-dessus du plan horizontal local:

- 127	dB(W/m ²) dans 1 MHz	pour	$0 \leq \varphi < 20$
- 127 + 0,56 ($\varphi - 20$) ²	dB(W/m ²) dans 1 MHz	pour	$20 \leq \varphi < 25$
- 113	dB(W/m ²) dans 1 MHz	pour	$25 \leq \varphi < 29$
- 136,9 + 25 log ($\varphi - 20$)	dB(W/m ²) dans 1 MHz	pour	$29 \leq \varphi < 31$
- 111	dB(W/m ²) dans 1 MHz	pour	$31 \leq \varphi \leq 90$

- 2.2** de considérer que ces limites correspondent à la puissance surfacique qui serait obtenue dans des conditions de propagation en espace libre;
- 3** de considérer qu'avec les limites de puissance surfacique données au § 2, la coordination entre les systèmes à satellites d'émission et les stations de réception du service de radionavigation aéronautique n'est pas nécessaire;
- 4** de ne pas faire fonctionner des radars de surface, tels qu'ils sont décrits dans l'Annexe 1, dans la bande 15,43-15,63 GHz;
- 5** de faire en sorte que, concernant les signaux émis par les stations du service de radionavigation aéronautique, les distances de coordination avec les stations terriennes de liaison de connexion du SMS soient celles qui sont données ci-après, si le gain d'antenne de station terrienne dans le plan horizontal local est de 11,5 dBi:
- 150 km à partir de l'aire d'atterrissage pour les systèmes d'aide à l'atterrissage des aéronefs (ALS);
 - 600 km à partir d'un aéronef équipé d'un radar multifonctions d'aéronef (MPR);
 - 60 km à partir de l'aire d'atterrissage pour les systèmes radars de détection et de mesure.
- 6** de ne faire fonctionner les stations terriennes de liaison de connexion qu'à des angles au-dessus du plan horizontal local d'au moins 5°;
- 7** de tenir compte des seuils pour le service de radioastronomie donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour la bande 15,35-15,4 GHz, lorsque des signaux sont émis par des liaisons de connexion d'un système spatial à satellites non OSG, quelles que soient les conditions et les méthodes de modulation (voir la Note 3);
- 8** de tenir compte des informations complémentaires rassemblées dans les Annexes 1, 2 et 3.

NOTE 1 – La largeur de bande indiquée au § 1 est inférieure à la largeur de la bande attribuée par la CMR-95 aux liaisons de connexion du SMS non OSG. Cette différence est recommandée afin de faciliter le partage de fréquences entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et le service de radionavigation aéronautique. Le § 1 sera revu à une date ultérieure en fonction des résultats d'une future CMR.

NOTE 2 – La possibilité de concevoir et de faire fonctionner des liaisons de connexion espace-Terre avec les limites provisoires de puissance surfacique données au § 2.1 n'a pas été étudiée. Par ailleurs, il y a lieu de revoir les valeurs de ces limites provisoires de puissance surfacique pour assurer la protection du service de radionavigation aéronautique.

NOTE 3 – On pourra fixer d'autres contraintes sur les plans de la conception et du fonctionnement pour les liaisons de connexion espace-Terre du SMS afin de tenir compte des seuils pour le service de radioastronomie donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769, selon le § 7.

ANNEXE 1

Systèmes de radionavigation aéronautique dans la bande 15,4-15,7 GHz**1 Radars de surface**

Les radars de surface, installés à terre ou embarqués à bord de navires, sont utilisés pour la détection, la localisation et le suivi du mouvement des aéronefs et des véhicules de surface utilisés dans les aéroports et sur tout type de terrain d'atterrissage.

1.1 Diagrammes d'antenne

- Ouverture de faisceau nominale à 3 dB: $< 3,5^\circ$ dans le plan vertical, cosécante inversée à -31°
 $0,35^\circ$ dans le plan horizontal
- Gamme de fréquences: 15,65-16,7 GHz
- Polarisation: circulaire
- Gain type: 43 dBi
- Niveau maximal des lobes latéraux: 25 dB en-dessous du gain de crête
- Niveau maximal des lobes arrière: 35 dB en-dessous du gain de crête
- Plage d'inclinaison dans le plan vertical: $\pm 1,5^\circ$
- Plage maximale de balayage dans le plan horizontal: 360° .

1.1.1 Diagramme d'enveloppe de l'élévation de l'antenne

Sur la base des données mesurées et des spécifications de niveaux des lobes latéraux, le gain de crête étant orienté à $+1,5^\circ$, on définit comme suit le diagramme de gain d'enveloppe en élévation, où φ désigne l'angle d'élévation (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 4 \\ 43 - 5(\varphi - 4) & \text{dBi} & \text{pour} & 4 \leq \varphi < 9 \\ 18 & \text{dBi} & \text{pour} & 9 \leq \varphi < 16 \\ 43,2 - 21 \log \varphi & \text{dBi} & \text{pour} & 16 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{pour} & 48 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

1.1.2 Diagramme d'enveloppe en fonction de l'azimut de l'antenne

Sur la base des données mesurées et des spécifications de niveaux des lobes latéraux, on définit comme suit le diagramme de gain d'enveloppe en azimut, où φ désigne l'angle d'azimut relatif (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 - 110 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 0,4767 \\ 18 & \text{dBi} & \text{pour} & 0,4767 \leq \varphi < 0,72 \\ 17,07 - 6,5 \log \varphi & \text{dBi} & \text{pour} & 0,72 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{pour} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

1.2 Autres caractéristiques**1.2.1 A l'émission**

- p.i.r.e. de crête: 86 dBW
- Fréquence de récurrence des impulsions: 8 192 Hz
- Durée des impulsions: 0,04 μ s
- Largeur de bande des impulsions à 3,5 dB: 25 MHz.

1.2.2 A la réception

- Gain d'antenne type: 43 dBi
- Facteur de bruit type: 6,2-6,9 dB.

2 Systèmes d'aide à l'atterrissage des aéronefs (ALS – Aircraft landing systems)

Les ALS sont des systèmes multifonctions utilisés à bord de navires à terre, sous forme d'équipements portatifs ou d'installations permanentes ou enfin pour les atterrissages de navettes spatiales. Le système d'atterrissage à faisceaux battants hyperfréquences (MSBLS – Microwave scanning beam landing system) est un de ces systèmes. Certaines de leurs caractéristiques varient en fonction de leurs applications spécifiques.

2.1 Diagramme d'antenne de station de surface

Les diagrammes d'antenne sont similaires pour toutes les applications, y compris pour le MSBLS. Les plages de balayage angulaire varient selon l'application mais celles qui sont données ci-dessous couvrent toutes les applications.

Le complément en antennes de l'ALS se compose d'une antenne pour l'élévation et d'une antenne pour l'azimut.

La partie antenne pour l'élévation de l'ALS sert à transmettre à l'aéronef les données d'angle dans le plan vertical:

- ouverture de faisceau nominale à 3 dB: 1,3° dans le plan vertical
40° dans le plan horizontal
- gamme de fréquences: 15,4-15,7 GHz
- polarisation: horizontale et verticale
- gain type: 28 dBi
- niveau maximal des lobes latéraux: 17 dB en-dessous du gain de crête dans les deux plans
- plage maximale de balayage dans le plan vertical: 0° à 30°.

La partie antenne pour l'azimut sert à transmettre les données d'azimut à l'aéronef:

- ouverture de faisceau nominale à 3 dB: 2,0° dans le plan horizontal
6,5° dans le plan vertical
- le diagramme dans le plan vertical est déformé afin de parvenir à un gain d'au moins 20 dBi à 20° au-dessus de l'horizon
- gamme de fréquences: 15,4-15,7 GHz
- polarisation: horizontale et verticale
- gain type: 33 dBi
- niveau maximal des lobes latéraux: 17 dB en-dessous du gain de crête dans les deux plans
- plage maximale de balayage dans le plan horizontal: $\pm 35^\circ$.

2.1.1 Diagramme d'enveloppe combiné en élévation

On définit comme suit le diagramme de gain d'enveloppe verticale combiné sur la base des données mesurées, où φ désigne l'angle d'élévation (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 33 - 0,833(\varphi - 8) & \text{dBi} & \text{pour} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 28 & \text{dBi} & \text{pour} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 28 - 9(\varphi - 32) & \text{dBi} & \text{pour} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 10 & \text{dBi} & \text{pour} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 10 - 0,2(\varphi - 40) & \text{dBi} & \text{pour} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

2.1.2 Diagrammes d'antenne en azimut

Le diagramme d'enveloppe en azimut de l'antenne d'élévation est défini comme suit, φ étant l'angle d'azimut relatif (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 28 - 0,0062 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 70 \\ -2,37 & \text{dBi} & \text{pour} & 70 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

Le diagramme d'enveloppe en azimut de l'antenne pour l'azimut est défini comme suit, φ étant l'angle d'azimut relatif (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 - 2 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 3 \\ 15 & \text{dBi} & \text{pour} & 3 \leq \varphi < 5 \\ 32,5 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & \text{pour} & 5 \leq \varphi < 48 \\ -9,53 & \text{dBi} & \text{pour} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

2.2 Autres caractéristiques

2.2.1 A l'émission

- p.i.r.e. de crête: 71 dBW
- Fréquence de récurrence des impulsions: 3 334 Hz
- Durée des impulsions: 0,333 μ s
- Largeur de bande des impulsions à 3,5 dB: 3 MHz.

2.2.2 A la réception

- Gain d'antenne type: 8 dBi
- Facteur de bruit type: 8 dB.

3 Radars d'aéronef multifonctions (MPR – Multipurpose radars)

Un radar d'aéronef multifonctions est un radar assurant des fonctions de radionavigation, de radiolocalisation et de météorologie.

3.1 Diagrammes d'antenne

L'antenne est une parabole d'environ 0,3 m de diamètre à balayage vertical et horizontal, compte tenu du cap et de l'attitude de l'aéronef:

- ouverture nominale de faisceau à 3 dB: 4,5°
- gamme de fréquences: 15,4-15,7 GHz
- polarisation: verticale
- gain type: 30 dBi
- débattement horizontal maximal: $\pm 45^\circ$
- débattement vertical maximal: $\pm 20^\circ$.

Le diagramme d'enveloppe de l'antenne est défini comme suit, φ étant l'angle d'azimut relatif (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 30 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 30 - 0,56 (\varphi - 20)^2 & \text{dBi} & \text{pour} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 16 & \text{dBi} & \text{pour} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 39,86 - 25 \log (\varphi - 20) & \text{dBi} & \text{pour} & 29 \leq \varphi < 68 \\ -2,17 & \text{dBi} & \text{pour} & 68 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

3.2 Autres caractéristiques

3.2.1 A l'émission

- p.i.r.e. de crête: 70 dBW
- Fréquence de récurrence des impulsions: 800 Hz
- Durée des impulsions: 2 μ s
- Largeur de bande des impulsions à 3,5 dB: 0,5 MHz.

3.2.2 A la réception

- Gain d'antenne type: 30 dBi
- Facteur de bruit type: 8 dB.

4 Système radar de détection et de mesure

Les techniques de mesure par système radar à 15 GHz sont particulièrement bien adaptées aux petits aéronefs, notamment aux hélicoptères, car de tels systèmes offrent divers avantages: compacité, légèreté, bonne directivité d'antenne, qualité de fonctionnement largement suffisante pour un grand nombre d'applications de radionavigation opérationnelle qui ne seraient pas envisageables à des fréquences inférieures pour diverses raisons, notamment de propagation. Pour les mesures d'altitude, cette bande de fréquences relativement élevée est particulièrement intéressante sur le plan de la conception des systèmes, grâce notamment au couplage plus faible et à l'absence d'effets de triangulation, ce qui est particulièrement important lorsque l'on cherche à obtenir des mesures précises avec une très bonne résolution (de l'ordre du mètre). D'ailleurs, dans certaines applications, cette bande de fréquences offre la seule solution techniquement viable.

Les systèmes faisant intervenir ces techniques sont largement utilisés dans certaines parties du monde où ils contribuent fortement à la sécurité des aéronefs. La mesure de l'altitude et l'existence de zones dégagées correspondent à l'un des paramètres les plus critiques dans l'exploitation d'un aéronef lorsque cette mesure sert à faciliter les étapes finales des atterrissages. Une haute précision et l'absence de brouillage sont des éléments vitaux permettant d'assurer le bon comportement des aéronefs et d'améliorer la sûreté de ce comportement.

Les systèmes radars de détection et de mesure sont surtout utilisés dans les phases de vol à basse altitude (altitude relative d'environ 1 500 m). Dans la grande majorité des applications, le système fait intervenir une antenne fonctionnant en émission-réception verticale vers le bas. Pour réduire les effets de diffusion et autres effets nuisibles, on fait intervenir une commande de réduction de puissance en fonction de l'altitude-sol.

4.1 Caractéristiques des systèmes radars de détection et de mesure

4.1.1 Emetteur

- Gamme de fréquences: 15,63-15,65 GHz
- Puissance de crête: 30 dBmW
- Gain d'antenne: 13 dBi, niveau des lobes arrières < 5 dBi
- Fréquence de récurrence des impulsions: 58 kHz
- Durée (maximale) des impulsions: 500 ns
- Coefficient d'utilisation (maximal): 3%
- Largeur de bande des impulsions à 3,5 dB: 2 MHz.

4.1.2 Récepteur

- Gain d'antenne: 13 dBi, niveau des lobes arrières < 5 dBi
- Facteur de bruit: 6 dB.

ANNEXE 2

Critères de protection pour le service de radionavigation aéronautique, possibilité de partage de fréquences avec les liaisons de connexion (espace-Terre) du SMS dans la bande 15,4-15,7 GHz et protection du service de radioastronomie dans la bande 15,35-15,4 GHz

1 Caractéristiques des systèmes de radionavigation aéronautique

On a recensé plusieurs systèmes qui fonctionnent dans cette bande. Ils comprennent les radars de surface, installés à terre ou embarqués à bord de navires, utilisés pour la détection, la localisation et le suivi du mouvement des aéronefs et des autres véhicules sur tout type de terrain d'atterrissage, des ALS, des MPR aéroportés et des systèmes radars de détection et de mesure. Les diagrammes d'antenne de ces systèmes constituent un élément important pour la détermination de la puissance surfacique en fonction de l'angle d'élévation. Les diagrammes de gain d'enveloppe d'antenne et les autres caractéristiques pertinentes sont donnés à l'Annexe 1.

2 Analyses

2.1 Limites de puissance surfacique dans le cas le plus défavorable

L'expression générale pour le calcul d'une limite de puissance surfacique (pfd) dans ce cas est la suivante:

$$pfd \leq -217,6 + 10 \log B - 20 \log \lambda - G/T + I/N \quad \text{dB(W/m}^2\text{) dans } B \quad (1)$$

où:

B : largeur de bande (Hz)

λ : longueur d'onde (m)

G/T : gain d'antenne/température de bruit (dB)

I/N : rapport brouillage/bruit admissible (dB)

Etant donné que ces systèmes opèrent dans le service de radionavigation aéronautique et qu'ils sont considérés comme des systèmes assurant un service de sécurité, les critères de protection pourront être plus sévères que pour d'autres services. Supposons que la limite du rapport I/N vaut -10 dB. L'inéquation (1) conduit alors à une limite de puissance surfacique de -146 dB(W/m²) dans 1 MHz dans le cas des paramètres donnés à l'Annexe 1 pour les radars de surface. Compte tenu des paramètres donnés à l'Annexe 1, l'inéquation (1) conduit à une limite de puissance surfacique de -111 dB(W/m²) dans 1 MHz pour les ALS et pour les systèmes radars de détection et de mesure et de -133 dB(W/m²) dans 1 MHz pour les MPR. Ces valeurs reposent sur des gains d'antennes maximaux pour ces systèmes.

La limite de puissance surfacique de -146 dB(W/m²) dans 1 MHz suppose l'utilisation d'antennes de stations terriennes très larges (de diamètre supérieur à 15 m) qui sont considérées comme irréalisables (voir le § 2.3). Toutefois, la bande 15,63-15,7 GHz peut suffire pour les radars de surface, ce qui permettrait de supprimer cette limite de puissance surfacique dans une bande 15,43-15,63 GHz attribuée aux liaisons de connexion.

Les MPR opèrent surtout au-dessus des océans et se situent la plupart du temps au-delà de la distance de coordination des stations terriennes de liaison de connexion; aucune coordination ne devrait donc être nécessaire avec ces stations. L'exploitation de MPR dans la bande 15,4-15,7 GHz devrait donc être autorisée même en cas d'application de contraintes géographiques (voir l'Annexe 3).

Les systèmes radars de détection et de mesure n'entraînent pas de restriction importante au niveau de la puissance surfacique, mais il peut y avoir des contraintes géographiques.

Une limite de puissance surfacique de -133 dB(W/m²) dans 1 MHz aux faibles angles d'incidence peut entraîner des contraintes indues pour la mise en place de stations terriennes de liaison de connexion du SMS. Une puissance surfacique de -127 dB(W/m²) dans 1 MHz permet d'utiliser des antennes de station terrienne d'un diamètre inférieur de moitié à celui qu'impose une puissance surfacique de -133 dB(W/m²) dans 1 MHz (voir le § 2.3.) Etant donné que les MPR utilisent une antenne à faisceau étroit de faible débattement angulaire, des brouillages intermittents de courte durée

se produiront lorsque leur faisceau principal est pointé en direction d'un satellite. En outre, il n'y a pas lieu de considérer que ces MPR, dans des conditions d'utilisation normale, assurent un «service de sécurité». Par conséquent, un accroissement du bruit du système pouvant atteindre 40% pourrait être toléré pendant de courtes périodes, ce qui porterait la limite de puissance surfacique à -127 dB(W/m²) dans 1 MHz.

2.2 Limites de puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence

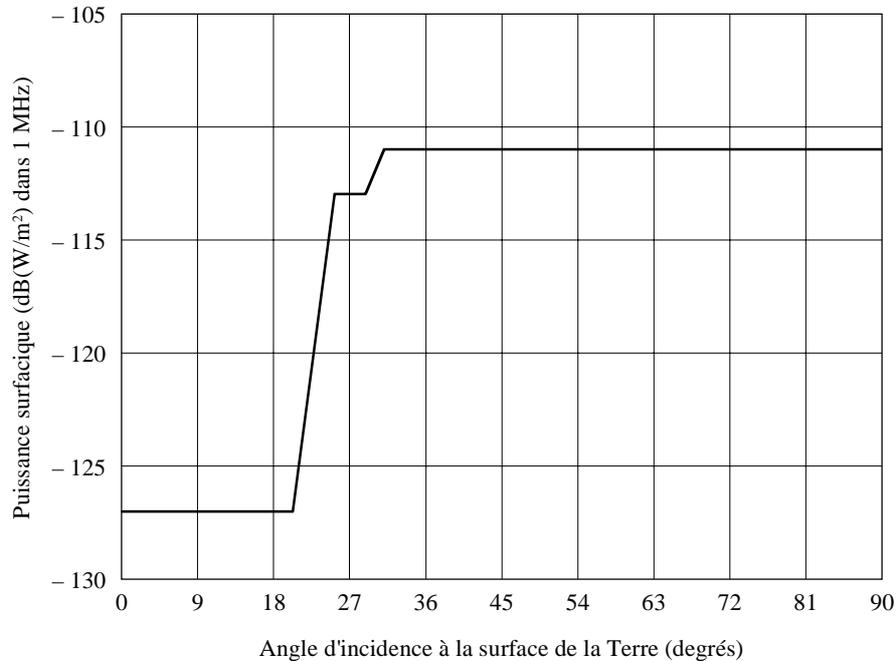
D'après le § 2.1, les ALS et les MPR devraient fonctionner dans la bande 15,4-15,7 GHz comprenant la bande 15,43-15,63 GHz utilisée en partage par les liaisons de connexion.

Si on combine les valeurs de puissance surfacique du § 2.1 avec les fonctions de gain d'antenne données aux § 2 et 3 de l'Annexe 1, on obtient les limites de puissance surfacique données ci-dessous et représentées sur la Fig. 1, où φ est en degrés;

$$\begin{array}{l}
 pfd \left\{ \begin{array}{ll}
 \leq -127 & \text{dB(W/m}^2\text{) dans 1 MHz} \quad \text{pour } 0 \leq \varphi < 20 \\
 \leq -127 + 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{dB(W/m}^2\text{) dans 1 MHz} \quad \text{pour } 20 \leq \varphi < 25 \\
 \leq -113 & \text{dB(W/m}^2\text{) dans 1 MHz} \quad \text{pour } 25 \leq \varphi < 29 \\
 \leq -136,9 + 25 \log(\varphi - 20) & \text{dB(W/m}^2\text{) dans 1 MHz} \quad \text{pour } 29 \leq \varphi < 31 \\
 \leq -111 & \text{dB(W/m}^2\text{) dans 1 MHz} \quad \text{pour } 31 \leq \varphi \leq 90
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

FIGURE 1

Limites maximales de puissance surfacique pour les satellites
(ALS, MPR et système radar de détection et de mesure)



2.3 Incidence sur les paramètres associés aux liaisons de connexion

Les signaux émis par les satellites arriveront toujours avec de faibles angles d'incidence à la surface de la Terre. Pour ces angles, la limite de puissance surfacique vaut $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz. Pour une puissance surfacique donnée, on peut calculer le diamètre d'une antenne de station terrienne, D , comme suit:

$$D = \left[(C/N)_t (k T B / pfd) (4M / \pi \eta) \right]^{0,5} \quad \text{m} \quad (2)$$

où:

$(C/N)_t$: rapport porteuse/bruit seuil

k : constante de Boltzmann

T : température de bruit du système de réception (K)

B : largeur de bande (Hz), utilisée pour la puissance surfacique

M : marge

η : rendement d'ouverture de l'antenne

Les stations terriennes de liaison de connexion du SMS sont généralement conçues de manière à offrir une disponibilité de liaison d'environ 99,99%. Pour un fonctionnement à des angles d'élévation inférieurs à 20° (en fonction de la zone hydrométéorologique de fonctionnement), la spécification de marge de protection contre les évanouissements dus à la pluie combinée au besoin de satisfaire la limite de puissance surfacique de $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz peuvent entraîner des contraintes pour la mise en place de stations terriennes de liaison de connexion du SMS dans la bande de fréquences 15,43-15,63 GHz.

En admettant un $(C/N)_t$ de 12 dB, une température T de 24 dB(K), un rendement η de 0,6 et des valeurs de puissance surfacique de -127 , -133 et $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz dans l'équation (2), on obtient pour le diamètre D les valeurs indiquées dans le Tableau 1:

TABLEAU 1

M (dB)	pfd		
	$-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz	$-133 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz	$-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz
	D (m)	D (m)	D (m)
7	1,7	3,4	15
10	2,4	4,8	22
13	3,4	6,8	30,4
16	4,8	9,6	43
19	6,8	13,6	61
22	9,6	19,2	86
25	13,6	27,1	121
28	19,2	38,3	171

2.4 Brouillages causés par des satellites non OSG à des récepteurs de radioastronomie dans la bande 15,35-15,4 GHz

La Recommandation UIT-R RA.769 donne des seuils de brouillage préjudiciable pour le service de radioastronomie dans la bande 15,35-15,4 GHz, qui est attribuée à titre primaire à ce service. Ces seuils sont de $-156 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz et de $-233 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz à la surface de la Terre. Si on suppose que la valeur par Hz peut être extrapolée à 1 MHz, le seuil serait de $-173 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz. La valeur applicable est égale à $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz pour les angles d'incidence inférieurs ou égaux à environ 20° et s'élève à $-111 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans 1 MHz pour les angles supérieurs à environ 30° dans la bande 15,43-15,63 GHz. Cela étant, il faut une discrimination qui soit égale à environ 46 dB à 15,4 GHz et qui s'élève à 62 dB au-dessus de 30° . Il est possible de parvenir à une valeur de 62 dB avec

un filtre à 6 pôles (ondulation de 0,1 dB) sur 30 MHz avec une bande passante de 50 MHz. L'exploitation de liaisons espace-Terre au voisinage immédiat de 15,4 GHz semble impossible. Toutefois, si la bande 15,4-15,43 GHz n'est pas utilisée par les liaisons de connexion, il existerait une bande de garde de 30 MHz dans laquelle on pourrait employer des filtres passe-bande ou d'autres dispositifs afin de protéger le service de radioastronomie dans la bande 15,35-15,4 GHz.

Concernant les niveaux des émissions hors bande provenant des liaisons de connexion, il faudrait tenir compte des besoins du service de radioastronomie dans la bande 15,35-15,4 GHz.

3 Résumé

Les limites de puissance surfacique données au § 2.2 sont nécessaires pour la protection du service de radionavigation aéronautique contre les brouillages causés par les liaisons de connexion espace-Terre dans la bande 15,4-15,7 GHz.

ANNEXE 3

Distances de coordination entre les stations terriennes de liaison de connexion espace-Terre du SMS et les stations du service de radionavigation aéronautique dans la bande 15,4-15,7 GHz

1 Caractéristiques des systèmes de radionavigation aéronautique

On a recensé plusieurs systèmes qui fonctionnent dans cette bande. Il s'agit des ALS et des MPR aéroportés. Les caractéristiques et analyses nécessaires pour déterminer les distances de coordination sont exposées dans les paragraphes qui suivent.

2 Distances de coordination

2.1 Analyses

La distance de coordination, D_c , nécessaire pour garantir que les stations de radionavigation aéronautique ne causent aucun brouillage potentiellement inacceptable aux stations terriennes de liaison de connexion du SMS peut être calculée comme indiqué dans les paragraphes qui suivent:

$$D_c = D_{fsl} + D_{oth} + D_{as} \quad \text{km} \quad (3)$$

où:

D_{fsl} : longueur totale du trajet radioélectrique en visibilité directe (km)

D_{oth} : distance, au-delà de l'horizon, correspondant à l'affaiblissement nécessaire au-delà de l'horizon (km)

D_{as} : distance entre l'aéronef et l'aire d'atterrissage (s'applique aux ALS et aux systèmes radars de détection et de mesure)

$$D_{fsl} = (2r h_1)^{0,5} + (2r h_2)^{0,5} \quad \text{km} \quad (4)$$

où:

r : rayon de la Terre porté aux 4/3 de la valeur géométrique afin de tenir compte de la réfraction dans l'atmosphère (8 500 km)

h_1 : altitude de la station du service de radionavigation aéronautique (km)

h_2 : altitude de la station terrienne de liaison de connexion (km)

$$L_{oth} = E_{eff}/\text{MHz} + 168,6 - L_{fsl} + G(\varphi) - 10 \log T - I/N \quad \text{dB} \quad (5)$$

où L_{oth} est l'affaiblissement au-delà de l'horizon qui vient s'ajouter à L_{fsl} (dB). (Cette fonction est décrite ci-après et sur la Fig. 2, établie à partir des fonctions 5% pour 15 GHz données dans la Recommandation UIT-R P.528; il est question ici de l'affaiblissement dépassé pendant 95% du temps.)

E_{eff}/MHz : densité maximale de p.i.r.e. apparente de la station de radionavigation aéronautique en direction de l'horizon (voir l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R S.1340).

L_{fsl} : affaiblissement en espace libre calculé pour D_{fsl} (dB)

$G(\varphi)$: gain de l'antenne de la station terrienne de liaison de connexion en fonction de l'angle φ au-dessus de l'horizon (dBi)

T : température de bruit de la station terrienne (K)

I/N : rapport brouillage/bruit acceptable de la station terrienne de liaison de connexion (dB)

La liste du Tableau 2 permet de déterminer la valeur de D_{oth} pour chacune des valeurs de L_{oth} énumérées.

TABLEAU 2

D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)
0	0	175	78	350	104
25	24	200	82	375	107
50	45	225	86	400	110
75	57	250	90	425	113
100	64	275	94	450	116
125	69	300	98	475	118
150	74	325	101	500	120

Pour les valeurs de L_{oth} comprises entre les valeurs données ci-dessus, on calcule les valeurs de D_{oth} au moyen de l'interpolation suivante:

$$D_{oth} = D_{ith} + 25 \left[(L_{oth} - L_{ith}) / (L_{jth} - L_{ith}) \right] \quad \text{km} \quad (6)$$

où:

L_{ith} : valeur de L_{oth} de la liste immédiatement inférieure à la valeur de L_{oth} déterminée par l'équation (5)

L_{jth} : valeur de L_{oth} de la liste immédiatement supérieure à la valeur de L_{oth} déterminée par l'équation (5)

2.2 Calcul des distances de coordination

On utilise les paramètres du Tableau 3 pour déterminer les distances de coordination.

Si le plan horizontal correspond aux lobes latéraux de l'antenne de la station terrienne, alors:

$$L_{oth} \text{ (dB)} = 87,2 - 25 \log \varphi \quad \text{pour les ALS} \quad (7)$$

$$L_{oth} \text{ (dB)} = 75,0 - 25 \log \varphi \quad \text{pour les MPR aéroportés}$$

La valeur retenue pour le gain de l'enveloppe des lobes latéraux est de $29 - 25 \log \varphi$ en dBi, où φ est en degrés.

En utilisant l'équation (7) pour L_{oth} et en déterminant les distances correspondantes à partir des équations (6) et (3), on obtient les résultats donnés dans le Tableau 4, pour l'ALS et le MPR aéroporté. Les distances du système radar de détection et de mesure sont en visibilité directe.

TABLEAU 3

Paramètre	ALS	MPR aéroporté	Système radar de détection et de mesure
h_1 (km)	0,01	15	1,5
h_2 (km)	0,01	0,01	0,01
D_{fsl} (km)	26	518	25 ⁽¹⁾
D_{as} (km)	0	0	40
L_{fsl} (dB)	145	171	Sans objet
$10 \log T$ (dB(K))	24	24	24
I/N (dB)	-10	-10	-10
E_{eff}/MHz (dBW)	48,2	62	-13,1
L_{oth} (dB)	69,7	57,4	0
D_{oth} (km)	129	77	0
D_c (km)	155	595	65

(1) Cette valeur correspond à la propagation en espace libre pour un angle d'incidence de $3,2^\circ$ dans la station terrienne.

TABLEAU 4

Angle d'élévation, φ (degrés)	Distances de coordination (km)		
	ALS	MPR aéroporté	Système radar de détection et de mesure
5	155	595	65
10	120	578	54
15	104	569	47
20	96	565	
25	91	562	
30	87	560	

Les MPR opèrent surtout au-dessus des océans et se situent la plupart du temps au-delà de 600 km des stations terriennes de liaison de connexion; aucune coordination ne devrait donc être nécessaire. Si les stations terriennes de liaison de connexion étaient situées à l'intérieur des terres, cela permettrait d'agrandir les zones de fonctionnement au-dessus des océans.

3 Facteurs permettant de réduire la distance de séparation inférieure à la distance de coordination

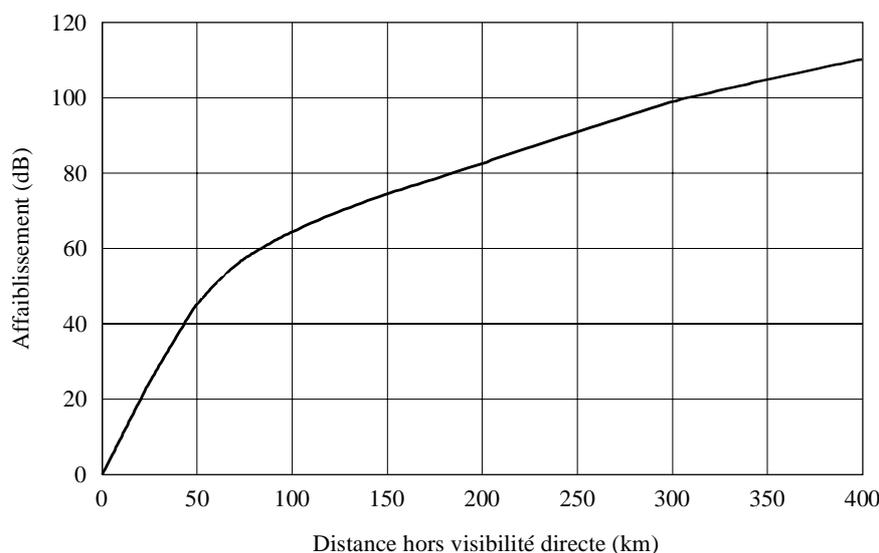
Il convient de tenir compte des considérations ci-après lorsqu'il est nécessaire qu'une station terrienne de liaison de connexion espace-Terre soit située à une distance inférieure à la distance de coordination.

- En général, les stations terriennes de liaison de connexion comporteront des antennes dont l'ouverture de faisceau d'antenne sera inférieure à 1° et opéreront à des angles d'élévation supérieurs à 5° . Il est donc possible de parvenir à une importante discrimination d'antenne de station terrienne par rapport aux signaux brouilleurs se propageant à la surface de la Terre.
- Les stations de radionavigation aéronautique situées à la surface de la Terre peuvent aussi permettre une discrimination d'antenne supplémentaire en fonction de leurs opérations. C'est, par exemple, le cas pour les ALS, pour lesquels l'azimut en direction de la station terrienne est situé hors des limites de balayage horizontal (voir l'Annexe 1).

- La formation spécifique d'un monticule de terre autour de la ou des antennes d'une station terrienne de liaison de connexion permet une discrimination supplémentaire en réception pour ladite station terrienne.
- On peut étudier où placer géographiquement la station terrienne de liaison de connexion afin de tirer parti du blocage naturel du terrain, qui permettra une augmentation de l'affaiblissement sur le trajet de propagation.

FIGURE 2

Affaiblissement venant s'ajouter à l'affaiblissement en espace libre correspondant à la distance en visibilité directe



1341-02

4 Résumé

- La présente Annexe contient la description d'une méthode permettant de déterminer les distances de coordination nécessaires pour la protection des stations terriennes de liaison de connexion contre les brouillages causés par les stations de radionavigation aéronautique dans la bande 15,4-15,7 GHz.
- On peut aussi utiliser cette méthode conjointement avec des techniques d'atténuation des effets des brouillages pour réduire au minimum les distances de séparation au moment de la coordination.
- Avec une limite fixée à 5° pour l'angle d'élévation de sorte que seuls les lobes latéraux des antennes de station terrienne de liaison de connexion soient en direction de l'horizon, une distance de coordination de l'ordre de 150 km est raisonnable pour les ALS et de 60 km pour les systèmes radars de détection et de mesure, mesurée depuis l'aire d'atterrissage.
- Les MPR peuvent fonctionner sans coordination lorsqu'ils sont distants de plus de 600 km des stations terriennes de liaison de connexion (par exemple au-dessus de zones océaniques).