

RECOMMANDATION UIT-R S.1340*,**

Partage entre les liaisons de connexion (Terre-espace) du service mobile par satellite et le service de radionavigation aéronautique dans la bande 15,4-15,7 GHz

(Question UIT-R 243/4)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'aux termes de la Résolution 117 (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 (Terre-espace) du service mobile par satellite (SMS) et le service de radionavigation aéronautique dans la bande 15,45-15,65 GHz;
- b) que la bande 15,4-15,7 GHz est attribuée au service de radionavigation aéronautique à titre primaire, et que le numéro S4.10 du Règlement des radiocommunications (RR) s'applique;
- c) que la CMR-95 a ajouté une attribution au service fixe par satellite (SFS) dans la bande 15,45-15,65 GHz, pour les liaisons de connexion (Terre-espace) de réseaux SMS à satellites non géostationnaires (non OSG);
- d) que les besoins de liaisons de connexion (Terre-espace) des systèmes SMS non OSG doivent être satisfaits dans cette bande;
- e) que les signaux émis par les stations du service de radionavigation aéronautique peuvent causer des brouillages inacceptables aux satellites;
- f) que les administrations exploitant des stations relevant du service de radionavigation aéronautique sont instamment priées de limiter la valeur moyenne de p.i.r.e. à 42 dBW afin de limiter les brouillages occasionnés aux satellites non géostationnaires, cette valeur étant sujette à réexamen et étude de la part de l'UIT-R (voir le numéro S5.511C du RR);
- g) que la coordination des émissions des stations de radionavigation aéronautique et des stations spatiales de liaison de connexion n'est pas considérée comme réalisable dans la pratique;
- h) que la propagation, à la surface de la Terre, des signaux émis par les stations terriennes de liaison de connexion peuvent causer aux stations de radionavigation aéronautique des brouillages inacceptables;
- j) que certaines limites ont été imposées au service fixe par satellite pour la protection du service de radionavigation aéronautique, conformément au numéro S5.511C du RR;
- k) que les stations aéroportées, les stations terrestres et les stations embarquées du service de radionavigation aéronautique utilisent cette bande de façon relativement intensive;
- l) que les stations d'aéronef ne sont pas autorisées à émettre dans la bande 15,45-16,45 GHz, conformément au numéro S5.511B du RR;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 8 des radiocommunications.

** La Commission d'études 4 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44 (AR-2000).

- m) que les caractéristiques techniques et opérationnelles des stations de radionavigation aéronautique sont assez bien connues;
- n) que les caractéristiques techniques et opérationnelles des liaisons de connexion ne sont pas bien définies;
- o) qu'il est nécessaire d'établir des méthodes de détermination des distances de coordination et de séparation requises entre stations terriennes de liaison de connexion et stations de radionavigation aéronautique afin de protéger les stations de radionavigation aéronautique;
- p) que des études ont déjà été consacrées aux questions qui précèdent,

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 les émissions, exprimées en p.i.r.e. équivalente (E_{eff}), des stations de radionavigation aéronautique ne dépassent pas les valeurs suivantes:

- 2.1 pour les systèmes d'atterrissage d'aéronefs et les liaisons de connexion présentant une largeur de bande supérieure à 3 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 53 & \text{dBW} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 53 - 0,833 (\varphi - 8) & \text{dBW} & \text{pour} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 48 & \text{dBW} & \text{pour} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 48 - 9 (\varphi - 32) & \text{dBW} & \text{pour} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 30 & \text{dBW} & \text{pour} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 30 - 0,2 (\varphi - 40) & \text{dBW} & \text{pour} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

- 2.2 pour les radars polyvalents d'aéronef et les liaisons de connexion présentant une largeur de bande supérieure à 1 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 62 & \text{dBW} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 62 - 0,56 (\varphi - 20)^2 & \text{dBW} & \text{pour} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 48 & \text{dBW} & \text{pour} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 71,86 - 25 \log (\varphi - 20) & \text{dBW} & \text{pour} & 29 \leq \varphi < 68 \\ 29,8 & \text{dBW} & \text{pour} & 68 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

où:

$$E_{eff} = E_p - 15 \log (1 + 5/PW) \quad \text{dBW}$$

E_{eff} : valeur de p.i.r.e. occasionnant le même niveau de brouillage, pour un signal à modulation de phase, qu'un signal de pseudo-bruit continu

E_p : valeur impulsionnelle de p.i.r.e. de crête (dBW) de la station de radionavigation aéronautique

PW : durée (μ s) des impulsions émises par la station de radionavigation aéronautique

φ : angle d'élévation (degrés) par rapport au plan de l'horizon;

- 3 de faire en sorte que les liaisons de connexion (Terre-espace) puissent, par conception, fonctionner dans les conditions de brouillage définies au § 2;

- 4 de considérer que, dans les conditions définies aux § 2 et 3, la coordination des émissions des stations de radionavigation aéronautique et des stations de réception des réseaux à satellites n'est pas requise;

5 de faire en sorte que la p.i.r.e. rayonnée vers le plan de l'horizon local par une station terrienne de liaison de connexion ne dépasse pas 54 dB(W/MHz) (Note 2);

6 de faire en sorte que les radars de surface décrits à l'Annexe 1 ne soient pas exploités dans la bande 15,43-15,63 GHz;

7 de considérer que les distances de coordination requises pour protéger les stations de radionavigation aéronautique contre tout brouillage inacceptable émanant d'une station terrienne de liaison de connexion s'établissent comme suit:

- 515 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 d'aéronef multifonctions (MPR);
- 270 km à partir de l'aire d'atterrissage pour les systèmes radars de détection et de mesure;

8 de tenir compte des informations complémentaires rassemblées dans les Annexes 1, 2 et 3.

NOTE 1 – La bande de fréquences dont il est question au § 1 diffère légèrement de la bande attribuée par la CMR-95. Il est recommandé d'adopter la première pour faciliter le partage entre les liaisons de connexion SMS non OSG et le service de radionavigation aéronautique. Le § 1 sera revu ultérieurement en fonction des résultats d'une future CMR.

NOTE 2 – On pourra soumettre les liaisons de connexion SMS (Terre-espace) à d'autres contraintes de conception et d'exploitation afin de tenir compte des niveaux seuils, applicables au service de radioastronomie, spécifiés dans la Recommandation UIT-R RA.769.

ANNEXE 1

Systemes 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: <math><3,5^\circ</math> dans le plan vertical, cosécante inversée à - 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: $\pm 1,5^\circ</math>$
- Plage maximale de balayage dans le plan horizontal: $360^\circ</math>.$

1.1.1 Diagramme d'enveloppe de gain d'antenne en élévation

Sur la base des données mesurées et des spécifications de niveau des lobes latéraux, le gain de crête étant orienté à $+1,5^\circ$, on définit comme suit le diagramme d'enveloppe de gain en élévation, dans lequel φ représente 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 de gain en azimut

Sur la base des données mesurées et des spécifications de niveau des lobes latéraux, on définit de même un diagramme de gain en azimut, dans lequel φ correspond à l'azimut relatif (degrés):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 - 110 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 0,4767 \\ 18 & \text{dBi} & \text{pour} & 4,4767 \leq \varphi < 0,72 \\ 17,07 - 6,5 \log \varphi & \text{dBi} & \text{pour} & 0,72 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{pour} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

1.2 Autres caractéristiques

1.2.1 Emission

- 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 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)

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

2.1 Diagrammes 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 indiquées ci-après couvrent la totalité des applications.

Le système d'antenne d'un ALS se compose d'une antenne d'élévation et d'une antenne d'azimut.

La partie d'antenne d'élévation de l'ALS permet de communiquer à l'aéronef des données de valeur angulaire verticale:

- ouverture nominale du faisceau 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 secondaires: 17 dB au-dessous de la valeur de crête dans les deux plans
- débattement angulaire vertical maximal: 0° à 30°.

L'antenne d'azimut de l'ALS, quant à elle, permet de communiquer à l'aéronef des informations d'azimut.

- ouverture nominale du faisceau à 3 dB: 2,0° dans le plan horizontal
6,5° dans le plan vertical
- par altération, on fait en sorte que le diagramme vertical donne au moins 20 dBi de gain 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 secondaires: 17 dB au-dessous de la valeur de crête dans les deux plans
- débattement angulaire horizontal maximal: $\pm 35^\circ$.

2.1.1 Diagramme d'enveloppe combiné en élévation

On définit comme suit un 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):

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

Enfin, le diagramme d'enveloppe en azimut de l'antenne d'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 Emission

- 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 Réception

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

3 Radars d'aéronef multifonctions (MPR)

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 du faisceau à 3 dB: 4,5°
- gamme de fréquences: 15,4-15,7 GHz
- polarisation: verticale
- gain type: 30 dBi
- débattement angulaire horizontal maximal: $\pm 45^\circ$
- débattement angulaire 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 Emission

- 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 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 arrière < 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 arrière < 5 dBi
- Facteur de bruit: 6 dB.

ANNEXE 2

Critères d'émission applicables au service de radionavigation aéronautique et possibilités de partage avec les liaisons de connexion (Terre-espace) du SMS dans la bande 15,4-15,7 GHz

1 Introduction

L'une des méthodes de base qui permettent de protéger des satellites non OSG contre tout brouillage inacceptable consiste à définir des limites maximales de p.i.r.e. rayonnée par les stations de radionavigation aéronautique et des limites de p.i.r.e. minimales applicables aux émissions des stations terriennes de liaison de connexion.

On peut aussi se contenter de fixer des limites de valeur de p.i.r.e. maximale applicables aux stations de radionavigation aéronautique pour définir les conditions de brouillage dans lesquelles les liaisons de connexion doivent pouvoir fonctionner correctement. Cette seconde solution semble plus intéressante en ce sens qu'elle est plus simple et qu'elle autorise une liberté maximale au niveau de la conception et de l'exploitation des liaisons de connexion. C'est précisément cette approche qui fait l'objet des paragraphes suivants.

L'une et l'autre méthodes représentent des moyens efficaces de supprimer la nécessité de la coordination. En l'occurrence, la coordination n'est pas envisageable dans la pratique.

2 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 navire, utilisés pour la détection, la localisation et le suivi du mouvement des aéronefs et des autres véhicules sur tout type d'atterrissage, des ALS, des MPR aéroportés et enfin des systèmes radars de détection et de mesure. Les diagrammes d'antenne de ces systèmes sont un élément important dans la détermination de la p.i.r.e. en fonction de l'angle d'élévation. On trouvera à l'Annexe 1 les diagrammes de gain d'enveloppe d'antenne et les autres caractéristiques pertinentes.

3 Analyses

3.1 Brouillages impulsionnels causés sur des porteuses numériques

Le Groupe d'action 4/4 a étudié les brouillages causés par des radars sur des porteuses numériques. Des mesures ont été effectuées pour une large gamme de fréquences de récurrence des impulsions (PRF) (1-100 kHz) et de facteurs d'utilisation, d , (0,01%-100%) pour ce qui est des radars, avec des débits de données compris entre 2 et 45 Mbit/s, les porteuses numériques considérées étant des systèmes MDP-4 à débit 3/4 et correction d'erreur directe (CED) fonctionnant avec un taux d'erreur binaire (TEB) de 1×10^{-6} . On a défini ainsi empiriquement, à partir des données de mesure, une

équation permettant d'établir une liaison entre la p.i.r.e. de crête des impulsions radars, E_p , et une valeur de p.i.r.e. effective, E_{eff} , correspondant à la p.i.r.e. qui causerait un brouillage de même niveau (voir la Recommandation UIT-R S.1068). La p.i.r.e. effective moyenne, E_{ave} , est égale au produit de la p.i.r.e. de crête et du facteur d'utilisation. Dans ces conditions, l'équation empirique s'écrit:

$$E_{eff} = E_p - 15 \log (1 + 0,5(PRF/d)) \quad \text{dBW} \quad (1)$$

dans laquelle PRF est exprimé en hertz et d en pourcentage.

Du fait que la largeur de l'impulsion, PW , est égale à d/PRF , l'équation (1) peut s'écrire:

$$E_{eff} = E_p - 15 \log (1 + 5/PW) \quad \text{dBW} \quad (2)$$

dans laquelle PW est exprimé en microsecondes.

Avec une fonction de densité spectrale de puissance de forme $[(\sin x)/x]^2$, la densité de puissance de crête est supérieure d'environ 3,5 dB à la moyenne de la densité de puissance pour une largeur de bande de $2/PW$. La largeur de bande à 3,5 dB (MHz) est d'environ $1/PW$. Ainsi, la densité de p.i.r.e. effective, E_{eff}/MHz , des largeurs de bande (MHz) de porteuse de liaison de connexion inférieures à $1/PW$ s'écrit:

$$E_{eff}/\text{MHz} = E_p - 10 \log (2/PW) + 3,5 - 15 \log (1 + 5/PW) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

tandis que, lorsque la largeur de bande est égale ou supérieure à $1/PW$, la moyenne du paramètre, E_{eff}/MHz , sur la largeur de bande considérée devient:

$$E_{eff}/\text{MHz} = E_p - 10 \log (2/PW) + 3,5 - 15 \log (1 + 5/PW) - 10 \log [(BW) (PW)] \quad \text{dBW} \quad (4)$$

3.2 Limites d'émission applicables aux stations de radionavigation aéronautique

La bande 15,63-15,7 GHz pourrait convenir aux radars de surface. En réaménageant la bande 15,45-15,65 GHz, dont les limites deviendraient alors 15,43-15,63 GHz, il ne serait pas nécessaire de se préoccuper des brouillages susceptibles d'être causés aux liaisons de connexion (Terre-espace).

Les radars polyvalents sont essentiellement utilisés au-dessus des océans, c'est-à-dire dans la plupart des cas au-delà des distances de coordination des stations terriennes de liaison de connexion, de sorte qu'une coordination avec ces dernières ne serait pas requise. En conséquence, l'exploitation de ces systèmes serait autorisée dans la bande 15,4-15,7 GHz, malgré certaines contraintes géographiques (voir l'Annexe 3). Les systèmes radars de détection et de mesure fonctionnent actuellement dans la bande 15,4-15,7 GHz et des contraintes géographiques peuvent également s'appliquer.

Les valeurs des paramètres des équations (2), (3) et (4) correspondant aux ALS, MPR et aux systèmes radars de détection et de mesure sont indiquées dans l'Annexe 1, où l'on trouvera également les fonctions de gain d'enveloppe d'antenne. Avec ces données, on peut calculer les valeurs de E_{eff} en fonction de l'angle d'élévation. La p.i.r.e. de crête et PW sont limitées par les équations (2), (3) et (4). L'angle d'élévation, φ , est exprimé en degrés.

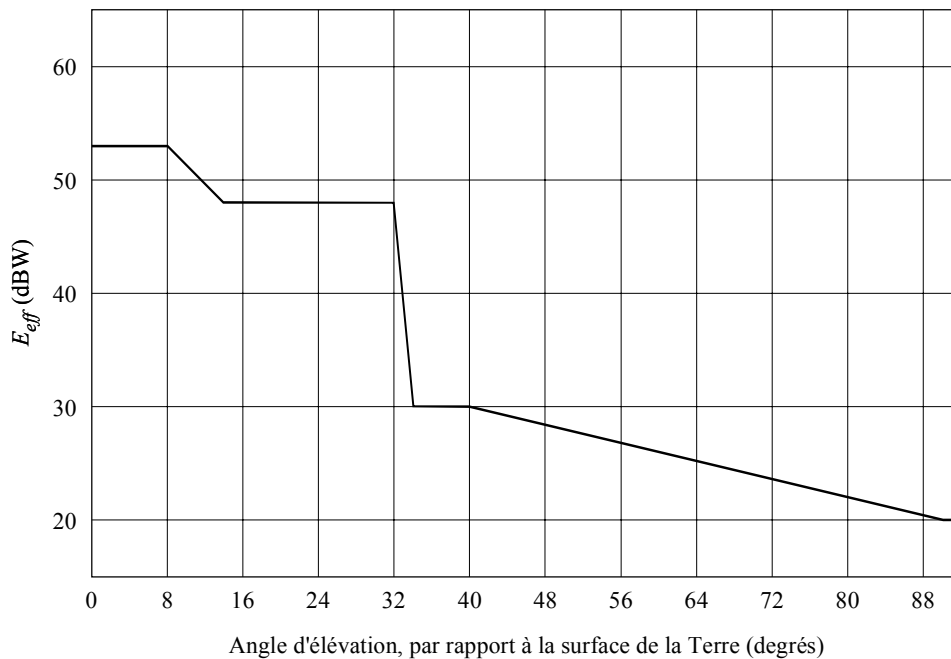
3.2.1 Limites du paramètre E_{eff} , ALS

Porteuses de liaison de connexion occupant plus de 3 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 53 & \text{dBW} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 53 - 0,833 (\varphi - 8) & \text{dBW} & \text{pour} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 48 & \text{dBW} & \text{pour} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 48 - 9 (\varphi - 32) & \text{dBW} & \text{pour} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 30 & \text{dBW} & \text{pour} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 30 - 0,2 (\varphi - 40) & \text{dBW} & \text{pour} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

Cette fonction est représentée à la Fig. 1.

FIGURE 1
Limites de p.i.r.e. effective, ALS



1340-01

3.2.2 Limites du paramètre E_{eff} , MPR

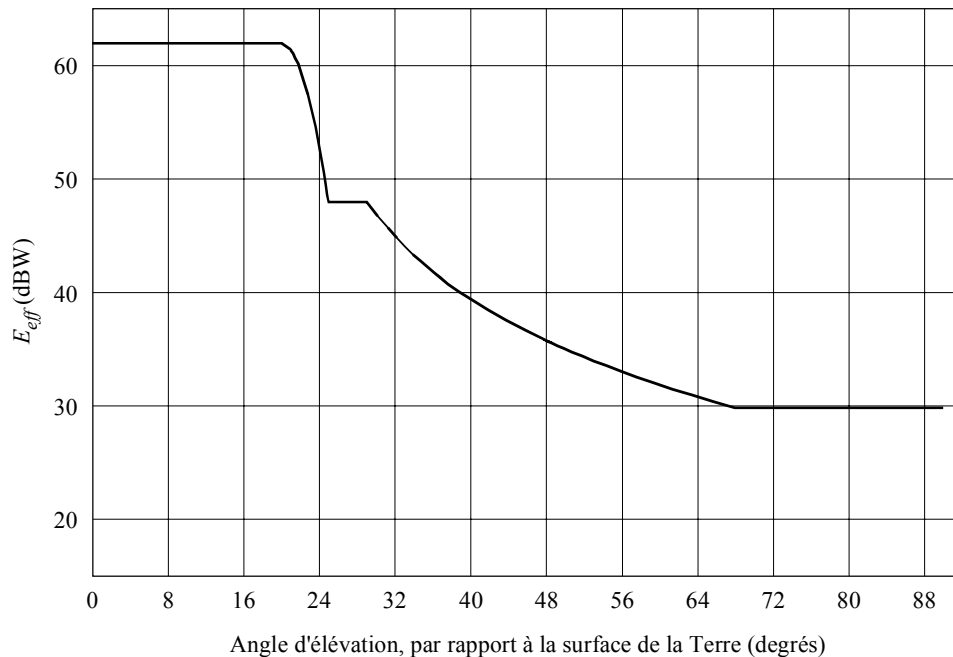
Porteuses de liaison de connexion occupant plus de 1 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 62 & \text{dBW} & \text{pour} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 62 - 0,56 (\varphi - 20)^2 & \text{dBW} & \text{pour} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 48 & \text{dBW} & \text{pour} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 71,86 - 25 \log (\varphi - 20) & \text{dBW} & \text{pour} & 29 \leq \varphi < 68 \\ 29,8 & \text{dBW} & \text{pour} & 68 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

Cette fonction est représentée à la Fig. 2.

Les valeurs du paramètre E_{eff} pour les systèmes radars de détection et de mesure, dans le cas d'angles d'élévation supérieurs à 0° , est de $-13,1$ dBW.

FIGURE 2
Limites de p.i.r.e. effective, MPR



1340-02

3.3 Incidence sur la p.i.r.e. des composantes montantes des liaisons de connexion

La protection contre les brouillages causés sur les liaisons montantes par des stations de radionavigation aéronautique peut être assurée par fixation d'une valeur adéquate de p.i.r.e. des stations terriennes sur ces liaisons.

Dans le cas des brouillages causés sur une porteuse MDP-4 à débit 3/4 et CED, le rapport C/I (porteuse/brouillage) correspondant à un TEB de 1×10^{-6} était d'environ 9 dB pour les valeurs mesurées indiquées au § 3.1. Cette valeur correspond à une configuration dans laquelle les brouillages provenant d'autres sources ne sont pas significatifs. Du fait que le pourcentage de temps pendant lequel une station de radionavigation est active et pendant lequel le contour de son antenne à -3 dB se conjugue aux signaux d'un satellite est très faible, on suppose qu'un rapport C/I de 9 dB peut être toléré pendant un pourcentage de temps aussi réduit. Dans le cas d'une porteuse MDP-4 sans codage, le rapport C/I est d'environ 12 dB.

La valeur de p.i.r.e. nécessaire, sur une liaison montante, pour contrer l'enveloppe de ces brouillages en fonction de la largeur de bande de la porteuse de la liaison de connexion se calcule sur la base d'une hypothèse de travail, à savoir qu'un seul signal de type donné peut être observé en un instant T . En général, des valeurs de p.i.r.e. de l'ordre de 60 à 70 dBW peuvent être requises.

4 Résumé

- Les limites de p.i.r.e. équivalentes indiquées au § 3.2 sont compatibles avec l'exploitation des systèmes de radionavigation aéronautique actuels.
- En spécifiant les conditions de brouillage maximales devant être acceptées par les liaisons de connexion du SMS, on permet aux concepteurs et aux exploitants de liaisons de connexion de disposer d'une marge de manœuvre optimale pour répondre aux besoins du service et on supprime toute nécessité de spécifier des altitudes d'orbite, des diagrammes de rayonnement d'antenne de satellite, etc., qui pourraient être associés à d'éventuelles valeurs minimales de p.i.r.e.
- La p.i.r.e. minimale requise d'une station terrienne de liaison de connexion appelée à fonctionner dans les conditions de brouillage maximales définies au § 3.3, dans le sens Terre-espace, est facile à respecter.

ANNEXE 3

Distances de coordination entre stations terriennes de liaison de connexion (Terre-espace) du SMS et 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 d'ALS ou de MPR aéroportés. Les caractéristiques et analyses nécessaires pour déterminer la distance de coordination sont exposées dans les paragraphes qui suivent.

2 Distances de coordination

2.1 Analyses

La distance de coordination, D_c , à respecter pour faire en sorte qu'aucun brouillage potentiellement inacceptable émanant de stations terriennes de liaison de connexion du SMS ne soit causé à des stations exploitées dans le service de radionavigation aéronautique est calculée comme indiqué dans les paragraphes qui suivent:

$$D_c = D_{fsl} + D_{oth} + D_{as} \quad \text{km} \quad (5)$$

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 (km) (s'applique aux ALS et aux systèmes radars de détection et de mesure)

$$D_{fsl} = (2r h_1)^{0,5} + (2r h_2)^{0,5} \quad \text{km} \quad (6)$$

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)

$$L_{oth} = E_{esd} + 168,6 - L_{fsl} + G/T - I/N \quad \text{dB} \quad (7)$$

où:

L_{oth} : affaiblissement de propagation au-delà de l'horizon ajouté à L_{fsl} (dB) (cette fonction est décrite ci-après et sur la Fig. 1, établie à partir des fonctions 5% pour 15 GHz données dans la Recommandation UIT-R P.528, c'est-à-dire pour un affaiblissement dépassé pendant 95% du temps).

E_{esd} : densité de p.i.r.e. maximale de la station terrienne de liaison de connexion en direction de l'horizon (par hypothèse, 54 dB(W/MHz))

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

G/T : rapport gain/température de bruit de la station du service de radionavigation aéronautique (dB)

I/N : rapport brouillage acceptable/bruit de la station du service de radionavigation aéronautique (dB).

Les valeurs de L_{oth} en fonction de D_{oth} s'établissent comme indiqué dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

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

Les valeurs de D_{oth} pour les valeurs de L_{oth} comprises entre les valeurs indiquées peuvent être extrapolées comme suit:

$$D_{oth} = D_{ith} + 25[(L_{oth} - L_{ith})/(L_{jth} - L_{ith})] \quad \text{km} \quad (8)$$

où:

L_{ith} : valeur immédiatement inférieure de L_{oth} , dans le Tableau 1, par rapport à la valeur déterminée selon l'équation (7)

L_{jth} : valeur immédiatement supérieure de L_{oth} , dans le Tableau 1, par rapport à la valeur déterminée selon l'équation (7).

2.2 Distances de coordination calculées

Compte tenu des équations et des méthodes de calcul exposées plus haut, et sur la base des valeurs de certains des paramètres définis au § 2.1 ainsi que des autres paramètres nécessaires, on calcule les distances de coordination comme indiqué dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres	ALS	MPR	Systèmes radars de détection et de mesure
h_1 (km)	7,6	15	1,5
h_2 (km)	0,01	0,01	0,01
D_{fsl} (km)	372	518	172,7
D_{as} (km)	100	0	40
L_{fsl} (dB)	167,7	170,6	160,9
G/T (dB)	-22,7	-2,0	-24,4
I/N (dB)	-10	-10	-10
L_{oth} (dB)	42,2	60	47,3
D_{oth} (km)	46,7	85,7	54,8
D_c (km)	518,7	603,7	267,5

Une distance de coordination de 600 km peut être utilisée pour les MPR. Le mode de fonctionnement principal de ce type d'équipement est le domaine maritime, ce qui signifie que, dans la plupart des cas, la distance de 600 km par rapport à une station terrienne de liaison de connexion serait dépassée et qu'une coordination ne serait pas de ce fait nécessaire. Au cas où les stations terriennes de liaison de connexion seraient installées à terre, l'exploitation maritime serait facilitée.

2.3 Réduction des limites applicables aux stations terriennes

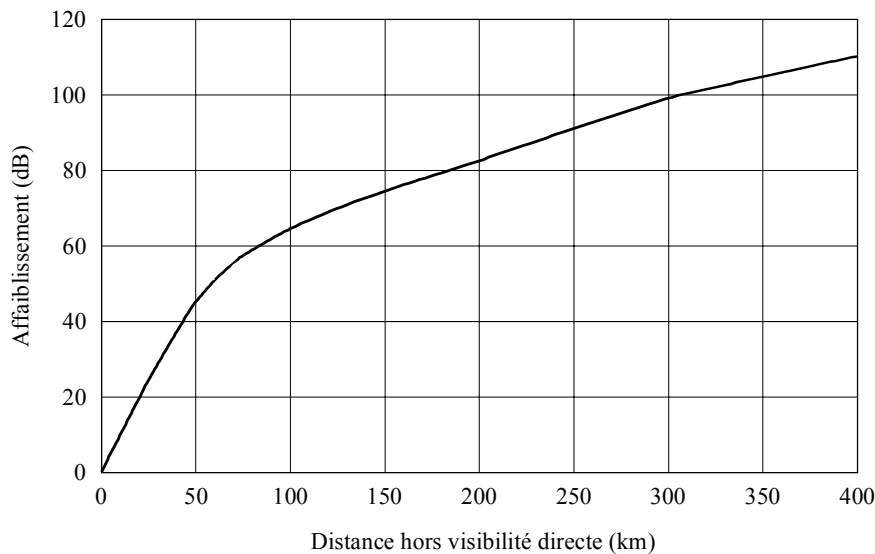
En abaissant la limite de densité maximale de p.i.r.e. des stations terriennes de liaison de connexion en direction de l'horizon, on devrait réduire également la distance de coordination. Sur la base de la fonction illustrée à la Fig. 3, les distances de coordination en fonction du paramètre E_{esd} s'établissent comme indiqué dans le Tableau 3:

TABLEAU 3

E_{esd} (dB(W/MHz))	ALS (km)	MPR (km)	Systèmes radars de détection et de mesure (km)
54	519	604	268
44	507	573	254
34	495	561	242
24	485	549	231

Il est évident que la distance de coordination, dans le cas des ALS, des MPR et des systèmes radars de détection et de mesure, c'est-à-dire dans le cas où les distances s'entendent essentiellement de trajets en visibilité directe, n'est pas très sensible à la densité de p.i.r.e. rayonnée vers l'horizon.

FIGURE 3
Affaiblissement venant s'ajouter à l'affaiblissement en espace libre correspondant à la distance en visibilité directe



1340-03

3 Résumé

- Les valeurs maximales d'émission d'une station terrienne de liaison de connexion doivent être limitées à 54 dB(W/MHz).
- En conséquence, une distance de coordination d'environ 515 km est nécessaire pour protéger les stations ALS exploitées dans le service de radionavigation aéronautique contre les brouillages inacceptables que pourraient provoquer les émissions de stations terriennes de liaison de connexion. La distance correspondante est d'environ 600 km pour un MPR et de 270 km pour un système radar de détection et de mesure.
- La distance de coordination associée à un ALS, à un MPR et à un système radar de détection et de mesure ne diminue pas de façon significative lorsque l'on réduit les valeurs maximales admissibles des émissions des stations terriennes de liaison de connexion.

La méthode que nous venons de décrire peut être utilisée parallèlement à d'autres techniques d'atténuation pour minimiser les distances de séparation pendant la coordination.

4 Facteurs de réduction de la distance de séparation compte tenu de la distance de coordination

Les éléments suivants seront pris en compte lorsqu'il sera nécessaire de situer une station terrienne de liaison de connexion (Terre-espace) dans les limites de la distance de coordination:

- En général, les stations terriennes de liaison de connexion sont dotées d'antennes dont l'ouverture de faisceau est inférieure à 1° , et fonctionnent à des valeurs d'angle d'élévation supérieures à 5° , ce qui diminue la p.i.r.e. rayonnée vers la station de radionavigation aéronautique et donc réduit la distance de séparation.
 - Lorsque les limites de balayage horizontal de l'ALS n'englobent pas l'azimut donnant sur la station terrienne de liaison de connexion, l'espace aérien associé au système d'aide à l'atterrissage n'est pas «en vue» de la station terrienne de liaison de connexion, de sorte que l'on pourrait en ce cas envisager de réduire la distance de séparation d'une valeur pouvant atteindre 100 km.
 - On pourra construire autour des antennes de station terrienne de liaison de connexion une butte de terre conférant un complément d'isolement en direction de la station de radionavigation aéronautique.
 - Par un choix judicieux du lieu géographique d'installation de la station terrienne de liaison de connexion, on pourra tirer parti du blocage naturel du terrain et accroître les valeurs d'affaiblissement sur le trajet de propagation.
 - On pourra enfin exploiter les phénomènes de découplage d'antennes que l'on observe lorsque l'aéronef se trouve dans l'espace aérien pris en charge par le système d'atterrissage et qu'il utilise ce système.
-