|  |
| --- |
| **Recommandation UIT-R M.2008-1**  **(02/2014)** |
| **Caractéristiques et critères de protection des radars du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25‑13,40 GHz** |
| **Série M**  **Services mobile, de radiorepérage et d’amateur y compris les services par satellite associés** |

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

|  |  |
| --- | --- |
| Séries des Recommandations UIT-R  (Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>) | |
| **Séries** | Titre |
| **BO** | Diffusion par satellite |
| **BR** | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision |
| **BS** | Service de radiodiffusion sonore |
| **BT** | Service de radiodiffusion télévisuelle |
| **F** | Service fixe |
| **M** | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés |
| **P** | Propagation des ondes radioélectriques |
| **RA** | Radio astronomie |
| **RS** | Systèmes de télédétection |
| **S** | Service fixe par satellite |
| **SA** | Applications spatiales et météorologie |
| **SF** | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| **SM** | Gestion du spectre |
| **SNG** | Reportage d'actualités par satellite |
| **TF** | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires |
| **V** | Vocabulaire et sujets associés |

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

*Publication électronique*

Genève, 2014

© UIT 2014

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 M.2008‑1

Caractéristiques et critères de protection des radars du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande  
de fréquences 13,25‑13,40 GHz

(2012-2014)

Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie les caractéristiques et les critères de protection des radars du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz. Les caractéristiques techniques et d'exploitation devraient être utilisées lors des analyses de compatibilité entre les radars du service de radionavigation aéronautique et les systèmes d'autres services.

Mots clés

13,25‑13,40 GHz, caractéristiques, protection, radar.

Abréviations/glossaire

PSD Densité spectrale de puissance

SRNA Service de radionavigation aéronautique

UA Aéronef sans pilote

UAS Système d'aéronef sans pilote

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

*a)* que les caractéristiques d'antenne, de propagation du signal, de détection des cibles et de grande largeur de bande nécessaire qui sont requises pour que les radars puissent remplir leurs fonctions sont optimales dans certaines bandes de fréquences;

*b)* que les caractéristiques techniques des radars fonctionnant dans le service de radionavigation aéronautique (SRNA) sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande de fréquences,

reconnaissant

*a)* que la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz est attribuée à titre primaire aux services de radionavigation aéronautique, d'exploration de la Terre par satellite (active) et de recherche spatiale (active);

*b)* que les services d'exploration de la Terre par satellite (active) et de recherche spatiale (active) fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz ne doivent pas causer de brouillages préjudiciables au SRNA ni limiter l'utilisation et le développement de ce service;

*c)* que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes fonctionnant dans les bandes de fréquences attribuées au SRNA sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes;

*d)* que des procédures et des méthodologies sont nécessaires pour analyser la compatibilité entre les radars du SRNA et les systèmes d'autres services,

recommande

**1** que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars du SRNA décrites à l'Annexe soient considérées comme représentatives de ceux fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz et soient utilisées dans les études de compatibilité avec les systèmes d'autres services;

**2** que la Recommandation UIT‑R M.1461 soit utilisée lors des analyses de compatibilité entre les radars fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz et les systèmes d'autres services;

**3** qu'un rapport niveau de puissance de signal brouilleur/niveau de puissance de bruit du récepteur radar (*I/N*) de –10 dB soit utilisé comme critère de protection des radars de radionavigation aéronautique, et qu'il représente le niveau de protection contre les brouillages cumulatifs si plusieurs brouilleurs sont présents.

**Annexe   
  
Caractéristiques techniques et d'exploitation des radars du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande   
de fréquences 13,25‑13,40 GHz**

# 1 Introduction

Les systèmes du SRNA fonctionnent dans le monde entier dans le cadre d'une attribution à titre primaire dans la bande de fréquences 13,25-13,4 GHz. La présente Annexe indique les caractéristiques techniques et d'exploitation de radars représentatifs du SRNA fonctionnant dans ladite bande de fréquences.

Des systèmes de navigation Doppler aéroportés sont installés à bord d'aéronefs (hélicoptères ainsi que certains avions) et sont utilisés pour des applications spécialisées telles que la détermination en continu de la vitesse au sol et de l'angle de dérive de l'aéronef par rapport au sol. La Radio Technical Commission for Aeronautics a établi une norme de qualité de fonctionnement minimale pour ces équipements "*DO-158 – Airborne Doppler Radar Navigation Equipment*" (radars Doppler aéroportés pour la navigation). En outre, il est également prévu que les radars utilisés pour la prévention des collisions à bord des aéronefs sans pilote prennent en charge l'intégration du système d'aéronef sans pilote dans les espaces aériens non réservés.

# 2 Paramètres techniques

Les paramètres techniques de radars de radionavigation fonctionnant dans la bande de fréquences 13,25-13,4 GHz sont présentés dans le Tableau 1. Tous les systèmes fonctionnent dans le monde entier à bord des aéronefs. Les radars sont utilisés pour les systèmes de navigation embarqués à bord d'aéronefs afin de permettre une navigation précise dans toutes les conditions météorologiques.

TABLEAU 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | | Unité | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Plate-forme | |  | Aéronef (hélicoptère) | Aéronef (hélicoptère) | Aéronef (avion) | Aéronef (avion) | Aéronef (hélicoptère) | Aéronef (avion) | Aéronef (avion) | Aéronef (hélicoptère) |
| Altitude maximale d'exploitation de la plate-forme | | m | 3 600 | 3 660 | 10 400 | 15 000 | 0-4 500 | 15 000 | 15 000 | 3 500 |
| Type de radar | |  | Radar Doppler de navigation | Radar Doppler de navigation | Radar Doppler de navigation | Radar Doppler de navigation | Radar Doppler de détection de la vitesse | Radar Doppler de détection de la vitesse | Radar Doppler de navigation | Radar Doppler de navigation |
| Vitesse mesurée au sol | | km/h | 333 | 553 | 750 | 1 047 | 250 | 1 100 | 180‑1 300 | 50‑399 |
| Fréquence | | GHz | Canal unique fixe | Canal unique fixe | Canal unique fixe | Canal unique fixe | Canal unique fixe | Canal unique fixe | 13,25 à 13,40 | 13,295 à 13,355 |
| Type d'émission | |  | Onde entretenue | Onde entretenue intermittente | Onde entretenue à modulation de fréquence | Onde entretenue | Onde entretenue à modulation de fréquence | Impulsion non modulée | Onde entretenue non modulée | Onde entretenue non modulée |
| Largeur de l'impulsion | | μs | Non applicable | 1-4 | Non applicable | Non disponible | Non applicable (FM) | 4-7 | Non applicable | Non applicable |
| Temps de montée et de descente de l'impulsion | | ns | Non applicable | 20 | Non applicable | Non disponible | Non applicable (FM) | 0,2, 0,2 | Non applicable | Non applicable |
| Largeur de bande d'émission RF | −3 dB −20 dB −40 dB | kHz | Non applicable | 2 800 20 000 | 100 250 350 | Non applicable | Non disponible Non disponible 150 | 1 000 5 600 95 000 | Non disponible | Non disponible |

TABLEAU 1 (*suite*)

| Paramètre | Unité | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fréquence de répétition des impulsions | pps | Non applicable | Non disponible | Non applicable | Non applicable | Non applicable | 80 000 | Non applicable | Non applicable |
| Puissance de crête de l'émetteur | W | 0,85 | 0,132 | 0,18 | 1,0 | 0,050 | 40 20 en moyenne | 0,125...10 | 0,15...10 |
| Largeur de bande FI à −3 dB du récepteur | kHz | 1,4 Valeur estimée | 1,6 Valeur estimée | 55 000 | 2,9 Valeur estimée | 14 | 2 500 | 15 000 | 100 000 |
| Sensibilité | dBm | −135 pour un rapport S/N de 0 dB | −135 | −134 pour un rapport S/N  de 0 dB | −138 pour un rapport S/N de 3 dB | −130 pour un rapport S/N  de 3 dB  (V = 100 m/s)  −160 pour un rapport S/N  de 3 dB  (V = vol stationnaire) | −96 pour un rapport S/N  de 3 dB  (V = 100 m/s) | −110 (mode acquisition)  −120 (mode poursuite) | −144 |
| Facteur de bruit du récepteur | dB | 22 (récepteur homodyne) | 22 (récepteur homodyne à double conversion) | 12 (récepteur super hétérodyne à double conversion) | 22 (récepteur homodyne) | 22 (récepteur homodyne) | 7,5 | Non disponible | Non disponible |
| Type d'antenne |  | Réflecteur parabolique | Antenne réseau à commande de phase | Antenne réseau à commande de phase | Antenne réseau à commande de phase | Antenne réseau à circuit imprimé | Antenne réseau à circuit imprimé | Antenne réseau à commande de phase | Réflecteur à cornet |
| Positionnement de l'antenne |  | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre | Pointe en direction de la Terre  (angle par rapport au nadir 9…11 degrés) | Pointe en direction de la Terre  (angle par rapport au nadir 18 degrés) |

TABLEAU 1 (suite)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | Unité | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Gain de l'antenne | dBi | 27 | 27 | 26 | 29,5 | 26,5 | 18 | 20 | 27,8 |
| Premier lobe latéral de l'antenne | dBi | 5,5 | Non disponible | 9 | 14,2 à 4 degrés | −10 | −10 | 7 | −7,2 |
| Ouverture de faisceau dans le plan horizontal | degrés | 7 | 3,3 | 9 | 4,7 | 4,0 | 20 | Non disponible | Non disponible |
| Ouverture de faisceau dans le plan vertical | degrés | 4,5 | 5 | 3 | 2,5 | 3,4 | 4,2 | Non disponible | Non disponible |
| Polarisation |  | Linéaire | Non disponible | Non disponible | Linéaire | Linéaire | Linéaire | Non disponible | Non disponible |
| Nombre de faisceaux |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 ou 4 | 3 |
| Configuration des faisceaux de l'antenne |  | Emploie le système Janus. Les faisceaux suivent approximati-vement les quatre arêtes d'une pyramide présentant chacune un angle de 18 degrés par rapport au nadir | Non disponible | Emploie le système Janus. Les faisceaux suivent approximati-vement les quatre arêtes d'une pyramide présentant chacune un angle de 16 degrés par rapport au nadir et un angle de 10,5 degrés latéralement | Emploie le système Janus | Emploie le système Janus. Les faisceaux suivent approximati-vement les quatre arêtes d'une pyramide présentant chacune un angle de 20 degrés par rapport au nadir | Deux faisceaux | Non disponible | Non disponible |

TABLEAU 1 (fin)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | Unité | Radar 1 | Radar 2 | Radar 3 | Radar 4 | Radar 5 | Radar 6 | Radar 7 | Radar 8 |
| Balayage de l'antenne |  | Le balayage s'effectue un faisceau à la fois pour chaque arête de la pyramide | Le balayage s'effectue un faisceau à la fois pour chaque arête de la pyramide | Le balayage s'effectue un faisceau à la fois pour chaque arête de la pyramide | Non disponible | Le balayage s'effectue un faisceau à la fois pour chaque arête de la pyramide | Non disponible | Non disponible | Non disponible |
| Critère de protection | dB | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 |

*Notes relatives au Tableau:*

NOTE 1 – Pour les hélicoptères, le plafond de service est généralement inférieur à 7 000 m au-dessus du niveau moyen de la mer, tandis que pour les aéronefs à voilure fixe pour la patrouille maritime, il est d'environ 15 000 m au-dessus du niveau moyen de la mer.

NOTE 2 – Le calcul de la sensibilité (dans l'hypothèse d'un rapport *S*/*N* minimal requis de 3 dB pour la poursuite) pour un système Doppler doit tenir compte de la largeur de bande du système de poursuite du récepteur. La sensibilité calculée par rapport à la largeur de bande complète du récepteur donnera une valeur relativement faible si on la compare à la sensibilité basée sur la largeur de bande dynamique du système de poursuite. Dans un système de poursuite de la génération actuelle, cette largeur de bande est comparable à la largeur de bande du signal radar rétrodiffusé, qui varie en fonction de la vitesse de l'aéronef.

NOTE 3 – La direction de pointage instantanée effective des différents faisceaux de l'antenne dépend de l'attitude d'installation du radar Doppler aéroporté par rapport aux axes de référence de l'aéronef (le radar n'est pas toujours installé à l'horizontale), ainsi que des angles de tangage et de roulis de l'aéronef. Les hélicoptères effectuant des recherches ou des manœuvres brusques d'accélération/décélération présenteront souvent des angles de tangage et de roulis supérieurs à 30 degrés pendant de brèves périodes de temps. Les excursions d'attitude des hélicoptères militaires haute performance sont encore plus grandes.

NOTE 4 – Pour les systèmes pour lesquels aucun facteur de bruit n'est disponible, on suppose que la valeur est de 12 dB pour les systèmes employant des récepteurs FI et de 22 dB pour les récepteurs homodynes (pas de FI). Référence: Fried, W. R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, p.176‑196, décembre 1957.

# 3 Caractéristiques des systèmes de radionavigation aéronautique

Les radars de radionavigation d'aéronef dans la bande de fréquences 13,25‑13,4 GHz fonctionnent en continu pour déterminer la vitesse et le cap pendant le vol, c'est-à-dire à des altitudes comprises entre celle du décollage et environ 4 500 m pour un hélicoptère et 15 000 m pour un aéronef. Les temps de vol en nombre d'heures sont très variables et, en règle générale, la plus grande partie du temps de vol se passe dans les airs, même si des temps de retard au départ ou à l'arrivée sont à prévoir. Le système radar Doppler de navigation Janus utilise quatre faisceaux d'antenne, comme illustré à la Fig. 1, deux vers l'avant et deux vers l'arrière, des deux côtés de la trajectoire au sol, pour calculer le vecteur vitesse de l'aéronef par rapport au terrain en mesurant le décalage Doppler de l'écho du sol pour chacun des faisceaux. Les faisceaux peuvent émettre deux par deux ou les uns à la suite des autres, en fonction de la conception du système. La Figure 2 illustre le diagramme des faisceaux d'antenne sur les lignes iso-Doppler. Le système matériel ou logiciel de stabilisation de l'antenne maintient le pointage de l'antenne vers le sol. Lorsque la largeur de bande FI, IF\_BWIFBW en Hertz, n'est pas disponible, on peut utiliser l'approximation suivante:



où:

*IF*\_*BW*:largeur de bande FI (Hz)

*v*: vitesse de l'aéronef (m/s)

*fc*: fréquence centrale (Hz)

*Bw*: ouverture de faisceau de l'antenne à 3 dB en radians

*a*: angle de dépression des faisceaux

*s*: vitesse de la lumière (m/s).

Pour les systèmes radar Janus, il est tenu compte d'un facteur supplémentaire de 1,414. Référence: Fried, W.R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, p. 176‑196, décembre 1957.

FIGURE 1

Exemple de configuration des faisceaux d'antenne depuis l'aéronef



Figure 2

Exemple de diagramme des faisceaux d'antenne sur les lignes iso-Doppler



# 4 Caractéristiques des radars de détection et d'évitement du service de radionavigation aéronautique

Pour assurer la sécurité d'exploitation en vol des aéronefs sans pilote, il faut des techniques évoluées permettant de détecter et de suivre les aéronefs voisins, le terrain et les obstacles à la navigation. Les aéronefs sans pilote doivent éviter ces objets de la même façon que les aéronefs avec pilote. Le pilote à distance devra connaître l'environnement dans lequel évolue l'aéronef, pouvoir identifier les situations qui pourraient menacer la sécurité d'exploitation de l'aéronef et prendre les mesures qui s'imposent. Le radar de détection et d'évitement à bord d'un aéronef sans pilote est un système de prévention des collisions dont la fonction principale est d'offrir la possibilité de détecter et suivre le trafic aérien et d'en rendre compte à l'utilisateur afin de maintenir un espacement suffisant par rapport aux intrus. Le système utilise une approche «pilote dans la boucle» dans laquelle il appartient au pilote au sol de l'aéronef sans pilote de décider en dernier ressort des manœuvres d'évitement à effectuer. Les paramètres techniques sont fournis dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres techniques des radars de détection et d'évitement

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | Unité | Radar 1 | Radar 2 |
| Plate-forme |  | Aéronef | Aéronef |
| Hauteur de la plate-forme | km | Jusqu'à 20 | Jusqu'à 15,5 |
| Type de radar |  | Système de prévention des collisions entre aéronefs (radar Doppler d'aide à la navigation) | Système de prévention des collisions entre aéronefs (radar Doppler d'aide à la navigation) |
| Vitesse au sol | km/h | Jusqu'à 1 500 | Jusqu'à 1 500 |
| Plage d'accord de fréquence | GHz | 13,25-13,4 | 13,25-13,4 |
| Type d'émission |  | Impulsions à codage de phase | Impulsions à codage de phase |
| Largeur de l'impulsion | μs | 1-2 | 2,5 |
| Temps de montée et de descente de l'impulsion | ns | 0,1 à 0,2 pour les temps de montée et de descente | 0,1 à 0,2 pour les temps de montée et de descente |

TABLEAU 2 (*fin*)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | Unité | Radar 1 | Radar 2 |
| Largeur de bande d'émission RF à –40 dB | MHz | 30 | 28,5 |
| Fréquence de répétition des impulsions | pps | 6 000-8 000 | 30 000 |
| Puissance moyenne de l'émetteur | W | 25 à 35 (jusqu'à 50) | 25 à 35 (jusqu'à 50) |
| Largeur de bande FI à ‑3 dB du récepteur | MHz | 0,7-1,1 | 14 |
| Sensibilité | dBm | −122 pour un rapport *S*/*N*  de 10 dB | –98,6 pour un rapport *S*/*N*  de 13,1 dB |
| Facteur de bruit du récepteur | dB | 3 | 2,7 |
| Puissance de bruit calculée du récepteur | dBW | –140,6 | –128,5 |
| Type d'antenne |  | Antenne réseau à commande de phase | Antenne réseau à commande de phase |
| Positionnement de l'antenne |  | Nez de l'aéronef | Nez de l'aéronef |
| Gain de l'antenne | dBi | 28-32 | 28-32 |
| Premier lobe latéral de l'antenne | dBi | 15-19 | 19 |
| Ouverture de faisceau dans le plan horizontal | degrés | 5 | 5 |
| Ouverture de faisceau dans le plan vertical | degrés | 5 | 5 |
| Polarisation |  | Linéaire verticale | Linéaire verticale et horizontale |
| Balayage de l'antenne | degrés | Plan vertical ± 30 Plan horizontal ± 110 | Plan vertical ± 37 Plan horizontal ± 110 |
| Critère de protection | dB | −10 | −10 |

# 5 Critère de protection

L'effet de désensibilisation des radars dû à une modulation assimilable à une onde entretenue ou à du bruit, émanant d'autres services, est probablement lié à l'intensité de cette modulation. Dans n'importe quel secteur d'azi­mut où ce type de brouillage se produit, il suffit d'ajouter la densité spectrale de puissance de ce brouillage à la densité spectrale de puissance du bruit thermique du récepteur radar pour obtenir un résultat relativement fiable. Si la densité spectrale de puissance du bruit du récepteur radar en l'absence de brouillage est désignée par *N*0 et celle du brouillage de type bruit par *I*0, on obtient la densité spectrale de puissance du bruit effectif qui en résulte en additionnant simplement *I*0 + *N*0.

En ce qui concerne la fonction de sécurité de la vie humaine assurée par le service de radionavigation, une augmentation d'environ 0,5 dB constituerait une dégradation significative. Cette augmentation correspond à un rapport (*I*/*N*) de −10 dB. Ce critère de protection représente le niveau de protection contre les effets cumulatifs des brouilleurs lorsqu'il y en a plusieurs; le rapport *I*/*N* admissible pour un brouilleur individuel dépend du nombre de brouilleurs et de leur configuration, et doit être estimé lors de l'analyse d'un scénario donné. Le facteur de cumul peut être très important dans le cas de certains systèmes de communication pour lesquels un grand nombre de stations peuvent être déployées.