

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

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 nécessaires 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

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 approximativement 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 approximativement 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 approximativement 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_{BW} en Hertz, n'est pas disponible, on peut utiliser l'approximation suivante:

$$IF_{BW} = 2 * v * f_c * B_w * \sin(a) / s$$

où:

- IF_{BW} : largeur de bande FI (Hz)
- v : vitesse de l'aéronef (m/s)
- f_c : fréquence centrale (Hz)
- B_w : 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.

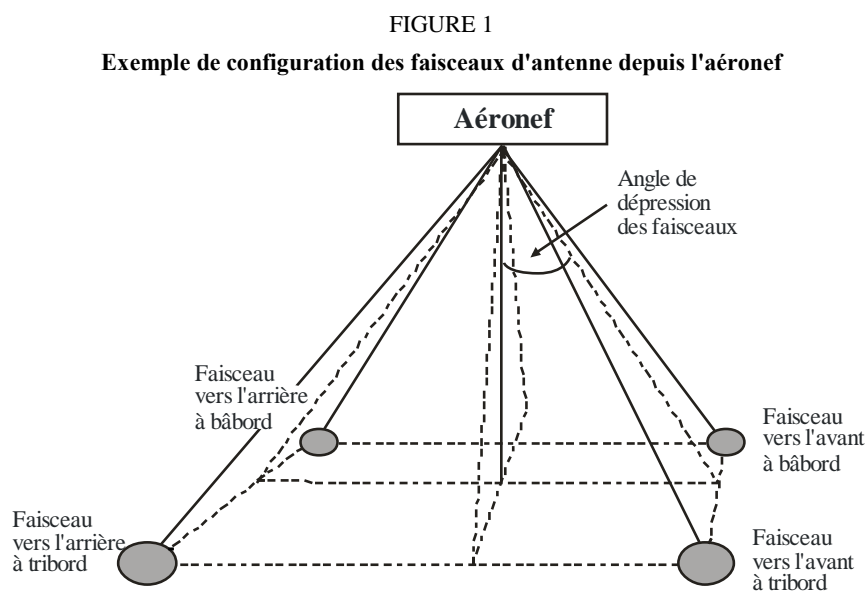
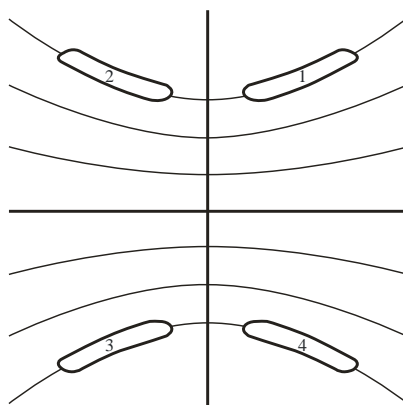


FIGURE 2

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



M.2008-02

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.
