

Recommandation UIT-R M.2162-0 (12/2023)

Série M: Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés

Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes de radiolocalisation fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz et des systèmes de radionavigation fonctionnant dans la gamme de fréquences 95-100 GHz

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/pub/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	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

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

Publication électronique
Genève, 2024

© UIT 2024

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.2162-0

Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes de radiolocalisation fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz et des systèmes de radionavigation fonctionnant dans la gamme de fréquences 95-100 GHz

(2023)

Domaine d'application

La présente Recommandation expose les caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radiolocalisation et de radionavigation fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz. Les paramètres sont destinés à servir de lignes directrices dans les analyses de compatibilité entre les radars fonctionnant dans le service de radiolocalisation ou dans le service de radionavigation et les systèmes d'autres services.

Mots-clés

Radar, caractéristiques

Abréviations/glossaire

FMCW onde porteuse modulée en fréquence (*frequency modulated carrier wave*)

FOD objet intrus (*foreign object debris*)

I/N rapport brouillage/bruit (*interference-to-noise ratio*)

SETS service d'exploration de la Terre par satellite

RR Règlement des radiocommunications (*Radio Regulations*)

Recommandations et Rapports de l'UIT connexes

Recommandation UIT-R F.699 – Diagrammes de rayonnement de référence pour antennes de systèmes hertziens fixes à utiliser pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage dans la gamme de fréquences comprise entre 100 MHz et 86 GHz

Recommandation UIT-R M.1851 – Modèles mathématiques pour les diagrammes d'antenne des systèmes radar du service de radiopérage à utiliser dans les analyses de brouillage

Recommandation UIT-R M.1461 – Procédures d'évaluation des risques de brouillage entre des radars fonctionnant dans le service de radiopérage et les systèmes d'autres services

Recommandation UIT-R M.1466 – Caractéristiques et critères de protection des radars fonctionnant dans le service de radionavigation dans la bande de fréquences 31,8-33,4 GHz

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 propres aux radars pour remplir leur fonction sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars fonctionnant dans les services de radiolocalisation et de radionavigation sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande de fréquences;
- c) qu'il faut établir des caractéristiques techniques et opérationnelles représentatives des radars fonctionnant dans les services de radiolocalisation et de radionavigation pour déterminer, au besoin,

s'il est possible d'introduire de nouveaux types de systèmes dans les bandes de fréquences attribuées aux services de radiolocalisation et de radionavigation,

reconnaissant

- a) que, conformément au numéro **5.554** du Règlement des radiocommunications (RR), dans la bande 95-100 GHz, les liaisons par satellite entre des stations terrestres situées en des points fixes spécifiés sont, de plus, autorisées lorsque ces liaisons fonctionnent dans le cadre du service mobile par satellite ou du service de radionavigation par satellite;
- b) que la bande de fréquences 92-94 GHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire;
- c) que la bande de fréquences 94-94,1 GHz est attribuée au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (active), au service de recherche spatiale (active) et au service de radiolocalisation à titre primaire, et au service de radioastronomie à titre secondaire;
- d) que l'utilisation de la bande de fréquences 94-94,1 GHz par le SETS (active) et le service de recherche spatiale (active) est limitée aux radars de détection de nuages spatioportés;
- e) que la bande de fréquences 94,1-95 GHz est attribuée aux services fixe, mobile, de radioastronomie et de radiolocalisation à titre primaire;
- f) que la bande de fréquences 95-100 GHz est attribuée aux services fixe, mobile, de radioastronomie, de radiolocalisation, de radionavigation et de radionavigation par satellite à titre primaire;
- g) que le numéro **5.149** du RR s'applique aux bandes de fréquences 92-94 GHz et 94,1-100 GHz, aux termes duquel «les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables. Les émissions provenant de stations à bord d'engins spatiaux ou d'aéronefs peuvent constituer des sources de brouillage particulièrement importantes pour le service de radioastronomie»;
- h) que le numéro **5.340** du RR, relatif à la bande passive dans les bandes de fréquences 86-92 GHz et 100-102 GHz dans lesquelles toutes les émissions sont interdites, s'applique,

notant

que la Recommandation UIT-R M.1461 sert également de référence pour l'analyse de la compatibilité entre les radars du service de radiorepérage et les autres services auxquels la bande de fréquences est attribuée,

recommande

- 1 de considérer que les caractéristiques techniques et opérationnelles et les critères de protection des systèmes de radiolocalisation et de radionavigation décrits dans l'Annexe sont représentatifs des systèmes fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz;
- 2 que les caractéristiques données dans l'Annexe soient prises en considération lors de la réalisation d'études de partage et de compatibilité.

Annexe

Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes de radiolocalisation et de radionavigation fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz

1 Introduction

Divers types de radars fonctionnent dans la gamme de fréquences 92-100 GHz. Leurs caractéristiques techniques et d'exploitation sont décrites dans les paragraphes suivants.

2 Caractéristiques des radars fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz

Les caractéristiques représentatives des systèmes de radiolocalisation dans la gamme de fréquences 92-100 GHz sont décrites ci-après. Les informations figurant dans la présente Annexe sont suffisantes pour effectuer des calculs généraux visant à évaluer la compatibilité entre ces radars et d'autres systèmes.

2.1 Radars météorologiques au sol fonctionnant dans la gamme de fréquences 94-100 GHz

La gamme de fréquences 94-100 GHz fournit des caractéristiques appropriées pouvant être utilisées dans le cadre d'études consacrées aux nuages et au brouillard. Ces radars utilisent un émetteur à faible puissance de crête et les ondes entretenues modulées en fréquence. Ces radars, en fonctionnement vertical, permettent d'accéder à la répartition verticale des nuages et à la vitesse de sédimentation des hydrométéores et mesurent l'énergie rétrodiffusée par ces hydrométéores. Cette énergie peut être liée à la quantité d'eau contenue dans le nuage (liquide et glace). La capacité Doppler de ces radars permet de mesurer la vitesse des hydrométéores le long du trajet en visibilité directe.

On peut ainsi constater une grande variété de conditions météorologiques et de types de nuages, y compris des nuages bas, du brouillard, des cirrus et des précipitations liquides. À titre d'exemple, une configuration basée sur une résolution verticale de 25 m, un temps d'intégration fixé à 3 s (avec une portée maximale de 12 km) et une vitesse de Nyquist de 5 m s^{-1} , fournit une capacité de détection continue de tous les types de nuages selon une sensibilité d'environ -44 dBz à 1 km pendant un laps de temps ininterrompu.

Sur la base de leurs caractéristiques et de leur capacité de détection, ces radars sont souvent déployés à proximité des aéroports et offrent des données importantes pour la gestion du trafic aérien.

TABLEAU 1

Caractéristiques des radars fonctionnant dans la gamme de fréquences 94-100 GHz

Paramètre	Radar A
Application	Météorologie (détection de forte pluie)
Zone de déploiement	Monde entier, emplacement fixe
Plage d'accord (GHz)	94-100
Type d'émetteur	Semi-conducteurs
Puissance de l'émetteur fournie à l'antenne (W) (de crête)	0,5-1
Polarisation	Linéaire

TABLEAU 1 (*fin*)

Paramètre	Radar A
Durée d'impulsion (ms)	0,04-0,16
Modulation de fréquence	FMCW
Période de répétition d'impulsion (μ s)	80-160
Type d'antenne	Parabolique
Hauteur du radar par rapport au sol (m)	1
Gain d'antenne (dBi)	54
Diamètre d'antenne (m)	0,6
Ouverture du faisceau de l'antenne en azimut (degrés)	0,4
Ouverture du faisceau de l'antenne en élévation (degrés)	0,4
Niveau de crête des lobes latéraux de l'antenne (dBi)	24
Type de diagramme d'antenne	Rec. UIT-R M.1851, diagramme COS^2
Bruit de fond du récepteur (dBm) (voir Rec. UIT-R M.1461 sous l'équation (4))	-105 ... -93,2
Facteur de bruit du récepteur (dB)	7
Largeur de bande d'émission RF (MHz)	Jusqu'à 24
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur (MHz)	1,5-24
Critère de protection du rapport I/N (dB)	-6

2.2 Systèmes aéroportuaires de détection des objets intrus fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz

Les systèmes de détection des objets intrus fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz peuvent notamment offrir une sensibilité de détection élevée, un temps de réponse de détection court, une couverture suffisante pour la surveillance des pistes et une précision de localisation élevée pour assurer la sécurité des aéroports. Le Tableau 2 contient un résumé des caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes de détection des objets intrus fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz.

Les objets intrus sont tout objet situé dans un endroit inapproprié de l'environnement aéroportuaire qui peut blesser le personnel des aéroports ou des compagnies aériennes et endommager les aéronefs. La présence d'objets intrus sur les pistes, les voies de circulation, les radiers et les rampes des aéroports constitue une menace importante pour la sécurité du transport aérien. Ces objets peuvent endommager les aéronefs pendant les phases critiques du vol, ce qui peut entraîner des pertes catastrophiques de vies humaines et de cellule, ainsi qu'une augmentation des coûts de maintenance et d'exploitation. Les risques liés aux objets intrus peuvent toutefois être atténués à l'aide d'équipements permettant leur détection.

Les objets intrus peuvent gravement blesser le personnel des aéroports et des compagnies aériennes et endommager les équipements. Les types de dommages potentiels comprennent: crevaisons de pneus d'aéronefs, pénétration dans le moteur des aéronefs ou pénétration dans les mécanismes ayant une incidence sur les vols. Des blessures peuvent survenir lorsque le souffle d'un réacteur propulse des objets intrus dans l'environnement aéroportuaire à des vitesses élevées.

Les objets de couleur foncée représentaient près de 50% des objets intrus collectés. Les dimensions courantes de ces objets peuvent être de 3 cm sur 3 cm ou moins. Les objets intrus typiques sont les suivants:

- dispositifs de serrage d'aéronefs et de moteurs (écrous, boulons, rondelles, fils de sécurité, etc.);
- pièces détachées pour l'aviation (bouchons d'avitaillement, fragments de train d'atterrissage, jauges d'huile, feuilles métalliques, trappes et fragments de pneu);
- outils de mécanicien;
- fournitures pour la restauration;
- objets liés à l'aire de trafic (clous, badges de personnel, stylos, crayons, étiquettes à bagages, cannettes de soda, etc.);
- objets liés au radier (débris en papier ou en matière plastique provenant de palettes de restauration et de fret, pièces de bagages et débris provenant des équipements de rampe);
- matériaux sur les pistes et les voies de circulation (morceaux d'asphalte ou de béton, restes de joints en caoutchouc et éclats de peinture);
- débris de construction (morceaux de bois, pierres, dispositifs de serrage et objets métalliques divers);
- matériaux en matière plastique et/ou en polyéthylène;
- éléments naturels (fragments de végétaux et animaux sauvages); et
- polluants liés aux conditions hivernales (neige, glace).

TABLEAU 2

Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes de détection des objets intrus fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz

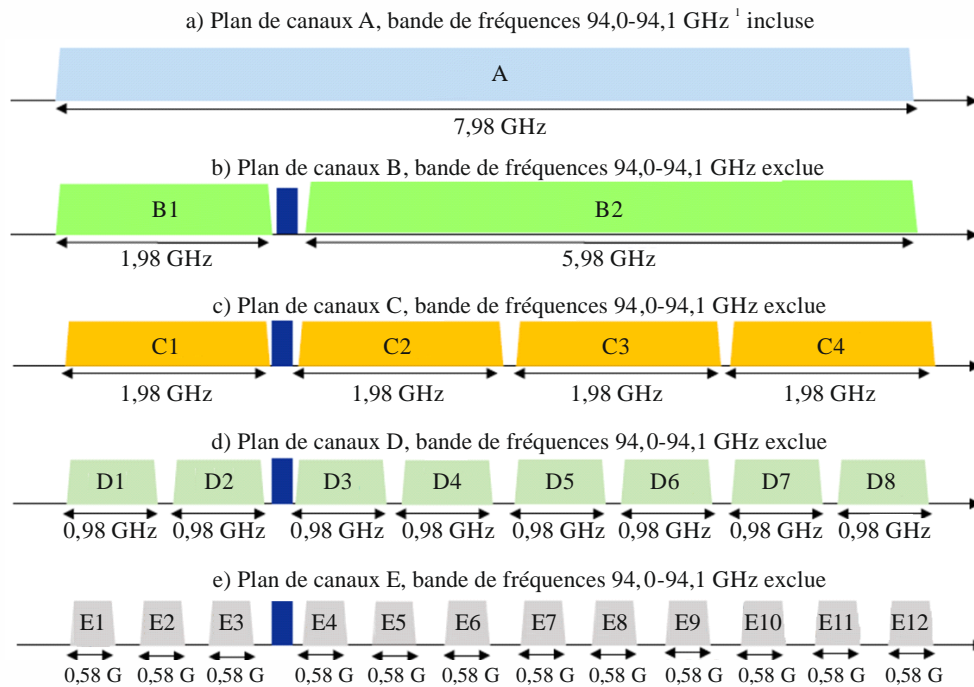
Paramètres	Valeurs
Gamme de fréquences (GHz)	92 ... 100
Largeur de bande de canal (GHz)	0,58 ... 7,98
Plan des canaux	Voir la Fig. 1
Puissance de crête à l'émission (mW)	100-200
Fréquence de balayage (FMCW) (kHz)	1,250
Type d'antenne	Cassegrain
Gain d'antenne (dBi)	44
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R F.699
Hauteur d'antenne (m)	4 ... 8
Largeur totale à mi-gain maximal d'antenne (ouverture de faisceau à 3 dB) (degrés)	Élévation: 1,0, Azimuth: 1,0
Vitesse de rotation d'antenne (tr/min)	15
Distance de détection (m)	200 ... 500
Angle de rotation rayonné en azimuth (degrés)	±60
Spécification de la section efficace de radar (dB/m ²)	-20
Résolution en portée (cm)	3 ... 50
Largeur de bande d'émission (-3 dB) (MHz)	1

TABLEAU 2 (fin)

Paramètres	Valeurs
Largeur de bande d'émission (-20 dB) (MHz)	3,5
Rapport de fuite de puissance dans le canal adjacent (dBc)	< -70
Facteur de bruit du récepteur (dB)	10
Critère de protection du rapport I/N (dB)	-6

FIGURE 1

Plan des canaux du système de détection des objets intrus fonctionnant dans la gamme de fréquences 92-100 GHz



¹Ce plan des canaux sera utilisé si des techniques d'atténuation sont disponibles pour résoudre les problèmes de coexistence avec le SETS (active).

2.3 Radars aéroportés en ondes millimétriques d'aide à l'atterrissage fonctionnant dans la gamme de fréquences 95-100 GHz

La bande de fréquences 95-100 GHz offre un bon compromis entre pénétration atmosphérique en toute saison et résolution angulaire pour obtenir un mini-radar aéroporté adapté aux opérations d'aide à l'atterrissage dans le service de radionavigation.

Les radars d'aide à l'atterrissage portent essentiellement sur des systèmes de vision en vol améliorés qui visent à fournir un flux vidéo radar, afin d'aider les pilotes à obtenir des références visuelles au-delà de leur vision naturelle, telles que les rampes d'approche et les débuts ou bords de piste. Les radars en ondes millimétriques peuvent aussi servir de système de localisation et de navigation en vue d'aider au guidage des aéronefs vers la zone d'atterrissage le long du segment d'approche finale. Ils constituent une solution de rechange autonome embarquée aux systèmes d'aide à l'atterrissage aux instruments sur les pistes qui n'en sont pas équipées. Le but premier consiste à s'assurer que les aéronefs peuvent atterrir quelles que soient les conditions météorologiques (brouillard, forte pluie), afin d'éviter les approches manquées et leurs effets néfastes sur la logistique.

Ces radars en ondes millimétriques sont prévus pour différents types de transporteur, des grands avions aux petits avions. La bande de fréquences 95-100 GHz permet de respecter la résolution angulaire fine et la portée de détection de plusieurs kilomètres requise à l'avant des avions, avec un équipement de petite taille, de faible poids et de faible puissance. Un réseau actif à balayage électronique à faible puissance de crête associé à une onde entretenue modulée en fréquence donne des résultats satisfaisants avec les technologies à semi-conducteurs disponibles dans cette bande de fréquences.

TABLEAU 3
**Caractéristiques des radars d'aide à l'atterrissage fonctionnant
dans la gamme de fréquences 95-100 GHz**

Paramètre	Radar A
Application	Aide à l'atterrissage
Zone de déploiement	Monde entier, aéroporté
Gamme de fréquences (GHz)	95,1-99,5
Puissance de crête à l'émission (W)	0,5-1
Polarisation	Linéaire
Durée d'impulsion (μ s)	100-200
Modulation de fréquence	FMCW
Type d'antenne	Réseau actif à balayage électronique
Hauteur du radar par rapport au sol (m)	200..0 (Aéroporté – Segment d'approche finale)
Gain d'antenne (dBi)	34-38
Largeur d'antenne (m)	0,4
Ouverture du faisceau de l'antenne en azimut (degrés)	0,5
Plage de balayage de l'antenne en azimut (degrés)	± 15
Ouverture du faisceau de l'antenne en élévation (degrés)	15
Plage de balayage de l'antenne en élévation (degrés)	$\pm 30^1$
Facteur de bruit du récepteur (dB)	8-10
Largeur de bande d'émission RF (MHz)	30-60
Largeur de bande du canal (MHz)	80
Nombre maximal de canaux	4
Critère de protection ² du rapport I/N^3 (dB)	-6

¹ Le radar n'a pas de capacité de balayage en élévation, le faisceau est fixe avec une inclinaison vers le bas de -6° et la variation de tangage de l'avion n'est pas compensée.

² Le critère de protection n'inclut pas la marge de sécurité aéronautique.

³ En l'absence d'exigences de qualité de fonctionnement.