

RECOMMANDATION UIT-R M.1464*

**CARACTÉRISTIQUES ET CRITÈRES DE PROTECTION DES RADARS
MÉTÉOROLOGIQUES ET DE RADIONAVIGATION FONCTIONNANT
DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES 2 700-2 900 MHz**

(Question UIT-R 35/8)

(2000)

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 propres aux radars pour remplir leurs fonctions sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars météorologiques et de radionavigation sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande;
- c) que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro S4.10 du RR et qu'aucun brouillage préjudiciable à son encontre ne peut être toléré;
- d) qu'une partie considérable du spectre attribué aux services de radiolocalisation et de radionavigation (s'élevant à environ 1 GHz) a été retirée à ces services ou reléguée à un statut inférieur depuis la CAMR-79;
- e) que certains groupes techniques de l'UIT-R envisagent la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes (par exemple, systèmes d'accès hertzien fixe ou systèmes fixes ou mobiles à haute densité) ou de services dans des bandes entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars météorologiques et de radionavigation;
- f) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des radars météorologiques et de radionavigation sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes dans des bandes de fréquences où ces derniers fonctionnent;
- g) que des procédures et méthodologies sont nécessaires pour analyser la compatibilité des radars météorologiques et de radionavigation avec les systèmes d'autres services;
- h) que les radars au sol utilisés dans cette bande pour les besoins de la météorologie sont autorisés à fonctionner sur une base d'égalité avec les stations du service de radionavigation aéronautique (numéro S5.423 du RR);
- j) que des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique fonctionnent dans la bande de fréquences 2 700-2 900 MHz,

recommande

- 1** que, les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique décrits à l'Annexe 1 soient considérées comme représentatives des systèmes fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz;
- 2** que la Recommandation UIT-R M.1461 soit utilisée comme directive pour l'analyse de la compatibilité des radars météorologiques et de radionavigation avec les systèmes d'autres services;

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

3 que, un rapport de puissance de signal brouilleur/niveau de puissance du bruit causé par le récepteur du radar, I/N , de -6 dB soit utilisé comme niveau de protection exigé pour les radars météorologiques et de radionavigation et représente le niveau de protection net si plusieurs brouilleurs sont présents.

NOTE 1 – La présente Recommandation sera révisée dès que plus d'informations seront disponibles. Il est à noter que le travail est toujours à l'étude à l'UIT-R en ce qui concerne la compatibilité entre les radars dans la bande 2 700-2 900 MHz et les systèmes IMT-2000.

ANNEXE 1

Caractéristiques des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique

1 Introduction

La bande de fréquences 2 700-2 900 MHz est attribuée au service de radionavigation aéronautique à titre primaire et au service de radiolocalisation à titre secondaire. Les radars au sol utilisés pour les besoins de la météorologie sont autorisés à fonctionner dans cette bande sur une base d'égalité avec les stations du service de radionavigation aéronautique (numéro S5.423 du RR).

Les radars de radionavigation aéronautique sont utilisés pour le contrôle du trafic aérien (ATC) sur les aéroports et assurent un service de sécurité (numéro S4.10 du RR). Il semble que la bande en question soit celle qui est la plus utilisée pour le trafic aérien civil dans le monde entier par les radars de surveillance d'aéroport/d'approche. Les radars météorologiques sont utilisés pour la détection d'éléments météorologiques dangereux comme les tornades, les ouragans ou les orages violents. Ils permettent également de prendre des mesures quantitatives des précipitations d'une zone particulière, qui sont très importantes pour la prévision d'éventuelles inondations. Elles sont en effet utilisées pour avertir la population et assurent donc un service de sauvegarde de la vie humaine.

2 Caractéristiques techniques

La bande de fréquences 2 700-2 900 MHz est utilisée par plusieurs types différents de radars sur plates-formes mobiles et fixes au sol. Les fonctions des systèmes radar exploités dans cette bande comprennent l'ATC et l'observation météorologique. On peut supposer que les fréquences d'exploitation de ces radars se répartissent uniformément dans la bande 2 700-2 900 MHz. Le Tableau 1 présente les caractéristiques techniques de radars météorologiques et de radionavigation aéronautique types fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz. Ces informations suffisent pour effectuer des calculs généraux visant à évaluer la compatibilité de ces radars avec d'autres systèmes.

2.1 Emetteurs

Les radars fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz utilisent des impulsions à ondes entretenues et à modulation de fréquence (pulsée). Des dispositifs de sortie à champs croisés, à semi-conducteur et à faisceau linéaire sont utilisés aux étages de sortie des émetteurs. Les nouveaux systèmes radar ont tendance à employer des dispositifs de sortie à faisceau linéaire et à semi-conducteur en raison des exigences du traitement du signal Doppler. Par ailleurs, les radars utilisant des dispositifs de sortie à semi-conducteur ont une puissance de sortie émetteur de crête plus faible et un coefficient d'utilisation d'impulsion plus élevé, atteignant 10%. Les systèmes radar de radionavigation ont également tendance à employer la diversité de fréquence.

Les largeurs de bande types des émissions RF des radars fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz sont comprises entre 66 kHz et 6 MHz. Les puissances de sortie de crête des émetteurs sont comprises entre 25 kW (74 dBm), pour les émetteurs à semi-conducteur, et 1,4 MW (91,5 dBm) pour les radars à grande puissance utilisant des klystrons.

TABLEAU 1

**Caractéristiques des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique
dans la bande de fréquences 2 700-2 900 MHz**

Caractéristiques	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E
Type de plate-forme (aéroportée, de navire, au sol)	Sol, ATC				Sol, météorologique
Plage de syntonisation (MHz)	2 700-2 900				2 700-3 000
Modulation	P0N		P0N, Q3N	P0N	
Puissance de l'émetteur fournie à l'antenne	1,4 MW	1,32 MW	25 kW	450 kW	500 kW
Largeur d'impulsion (µs)	0,6	1,03	1,0, 89	1,0	1,6 (impulsion courte) 4,7 (impulsion longue)
Temps de montée/de descente des impulsions (µs)	0,15-0,2		0,5/0,32 (impulsion courte) 0,7/1 (impulsion longue)		0,12
Fréquence de répétition des impulsions (pps)	973-1 040 (sélectionnable)	1 059-1 172	722-935 (impulsion courte) 788-1 050 (impulsion longue)	1 050	318-1 304 (impulsion courte) 318-452 (impulsion longue)
Coefficient d'utilisation (%)	0,07 maximum	0,14 maximum	9,34 maximum	0,1 maximum	0,21 maximum
Largeur de bande de modulation (MHz)	Sans objet		2	Sans objet	
Largeur de sous-impulsion codée en phase	Sans objet				
Rapport de compression	Sans objet		89	Sans objet	
Largeur de bande d'émission RF: -20 dB	6 MHz	5 MHz	2,6 MHz (impulsion courte) 5,6 MHz (impulsion longue)		4,6 MHz
3 dB		600 kHz	1,9		600 kHz
Dispositif de sortie	Klystron		Transistors à semi-conducteur, Classe C	Magnétron	Klystron
Type de diagramme d'antenne (à faisceau-crayon, à faisceau en éventail, à faisceau en cosécante carrée, etc.)	En cosécante carrée +30°		En cosécante carrée 6° à +30°		Crayon
Type d'antenne (à réflecteur, à balayage électronique en phase, à fentes, etc.)	Réflecteur parabolique				
Polarisation de l'antenne	Verticale ou circulaire gauche	Verticale ou circulaire droite	Circulaire ou linéaire	Verticale ou circulaire gauche	Linéaire: verticale et horizontale
Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	33,5		34	32,8	45,7

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E
Ouverture angulaire en élévation du faisceau de l'antenne (degrés)	4,8			4	0,92
Ouverture angulaire en azimut du faisceau de l'antenne (degrés)	1,35	1,3	1,45	1,6	0,92
Vitesse de balayage horizontal de l'antenne (degrés/s)	75			90	18
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, 360°, secteur, etc.)	360°				
Vitesse de balayage vertical de l'antenne (degrés/s)	Sans objet				14 pas en 5 min
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, 360°, secteur, etc.) (degrés)	Sans objet		+2,5 à -2,5	Sans objet	Pas fixes: 0,5-20
Niveaux des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et derniers lobes latéraux)		+7,3 dBi	+9,5 dBi 3,5°		+20 dBi
Hauteur de l'antenne (m)	8				30
Largeur de bande à 3 dB du récepteur FI	5,0 MHz	653 kHz	15 MHz		630 kHz
Facteur de bruit du récepteur (dB)	4,0 maximum		3,3	2,7	2,1
Signal perceptible minimum (dBm)	-110	-108	-110	-112	-115
Point de compression à 1 dB des étages d'entrée du récepteur (dBm)		-20			-17
Niveau de saturation du récepteur syntonisé (dBm)		-45			-10
Largeur de bande à 3 dB du récepteur RF	2-2,3 MHz	10 MHz	280,6 MHz		1,6 MHz
Temps de reprise et niveaux de saturation RF et IF du récepteur					-10 dBm, 1 µs
Largeur de bande de filtrage Doppler (Hz)		95 par secteur			95 environ
Caractéristiques d'affaiblissement du brouillage	Circuit d'amélioration à contre-réaction	(1)			(2)
Distribution géographique	Monde entier				
Fraction du temps d'utilisation (%)	100				

(1) Gain variable dans le temps (GVT), Taux de fausse alarme constant (TFAC), Fréquences de répétition des impulsions sélectionnable, affaiblissement des impulsions asynchrones, filtrage Doppler, suppression des impulsions saturées.

(2) Filtrage Doppler et suppression des impulsions saturées.

2.2 Récepteurs

Les systèmes radar de nouvelle génération utilisent un système de traitement numérique du signal après détection pour le traitement des données de télémétrie, d'azimut et Doppler. Les systèmes de traitement du signal utilisent généralement des techniques permettant d'améliorer la détection des cibles utiles et d'afficher les symboles des cibles sur l'écran. Les techniques de traitement du signal utilisées pour la surbrillance et l'identification des cibles utiles permettent également de supprimer le brouillage par des signaux à faible cycle d'utilisation (moins de 5%), c'est-à-dire non synchronisés avec le signal désiré.

Les systèmes de traitement du signal des radars de nouvelle génération utilisent également des impulsions modulées en fréquence permettant un gain de traitement du signal utile et éventuellement la suppression de signaux inutiles.

Certains émetteurs à semi-conducteur de faible puissance les plus récents utilisent un système de traitement du signal à coefficient d'utilisation élevé et à plusieurs canaux pour améliorer les retours des signaux utiles. Certains récepteurs de radar peuvent identifier des canaux RF qui ont des signaux faibles inutiles et obliger l'émetteur à émettre sur ces canaux RF.

2.3 Antennes

Seules les antennes de type réflecteur parabolique sont utilisées sur les radars fonctionnant dans la bande de fréquences 2700-2900 MHz. Les radars d'ATC possèdent une antenne à faisceau en cosécante carrée, alors que les radars météorologiques possèdent une antenne à faisceau-crayon. Étant donné que les radars fonctionnant dans la bande 2700-2900 MHz assurent des fonctions d'ATC et d'observation météorologique, les antennes balayent un angle de 360° dans le plan horizontal. Les polarisations horizontale, verticale et circulaire sont utilisées. Les radars de nouvelle génération utilisant des antennes de type réflecteur possèdent plusieurs cornets. On utilise des cornets doubles à l'émission et à la réception afin d'améliorer la détection en fouillis de surface. Les radars tridimensionnels emploient également des antennes à réflecteur, à faisceaux empilés et à plusieurs cornets. Les antennes à plusieurs cornets réduisent le niveau de brouillage. Les hauteurs d'antenne type des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique sont respectivement de 8 m et de 30 m au-dessus du niveau du sol.

3 Critères de protection

L'effet de désensibilisation des radars de radionavigation et météorologiques due à une modulation assimilable à une onde entretenue ou à du bruit, causé par 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 du radar pour obtenir un résultat relativement fiable. Si la densité spectrale de puissance du bruit du récepteur du radar en l'absence de brouillage est désignée par N_0 et celle du brouillage de type bruit est désignée par I_0 , on obtient simplement la densité spectrale de puissance du bruit effectif qui en résulte par la somme $I_0 + N_0$. Une augmentation d'environ 1 dB constituerait une dégradation significative, équivalant à une réduction de détection d'environ 6%. Cette augmentation correspond à un rapport $(I + N)/N$ de 1,26 ou à un rapport I/N d'environ -6 dB, ce qui représente l'effet de regroupement de plusieurs brouilleurs quand il y en a ; le rapport I/N acceptable d'un brouilleur individuel dépend du nombre de brouilleurs et de leur géométrie et doit être estimé lors de l'analyse d'un scénario donné. Si un brouillage par ondes entretenues provient de la plupart des azimuts, il sera alors nécessaire de maintenir un rapport I/N inférieur.

Le facteur de regroupement peut être très important dans le cas de certains systèmes de communication, pour lesquels un grand nombre de stations peuvent être utilisées.

L'effet du brouillage par impulsions est plus difficile à quantifier; il dépend fortement du type de processeur utilisé par les récepteurs et du mode de fonctionnement de ces derniers. En particulier, les gains résultant du traitement différentiel du retour de cible, qui est pulsé de façon synchrone, et des impulsions de brouillage, qui sont généralement asynchrones, ont souvent des effets importants sur les niveaux donnés de brouillage par impulsions. Cette désensibilisation peut être à l'origine de différents types de dégradation de la performance. L'évaluation de la désensibilisation constituera un objectif en ce qui concerne les analyses d'interaction entre certains types de radar. On s'attend, en général, à ce que les nombreuses fonctions des radars de radiopérage contribuent à supprimer le brouillage par impulsions à faible coefficient d'utilisation, en particulier lorsqu'il provient de quelques sources isolées. Les techniques de suppression du brouillage par impulsions à faible coefficient d'utilisation figurent dans la Recommandation UIT-R M.1372 – Utilisation efficace du spectre radioélectrique par les stations radar du service de radiopérage.

4 Caractéristiques d'exploitation

4.1 Radars météorologiques

Le Tableau 1 décrit les caractéristiques techniques d'un radar météorologique type, le radar E, qui fonctionne principalement dans la bande 2 700-2 900 MHz, mais peut toutefois fonctionner jusqu'à 3 000 MHz. Ce système radar météorologique primaire est utilisé pour l'établissement des plans de vol. Situé sur les aéroports du monde entier, il fournit aux avions les conditions météorologiques exactes et fonctionne donc 24 h sur 24.

Ce radar utilise la technologie Doppler pour observer et calculer la vitesse et le déplacement d'éléments météorologiques dangereux (tornades, ouragans ou orages violents). Le radar E permet également de prendre des mesures quantitatives des précipitations d'une zone particulière, qui sont très importantes pour la prévision d'éventuelles inondations. Les possibilités de détection d'éléments météorologiques dangereux et de calcul de leur déplacement qu'offre ce radar contribuent à augmenter la précision et la rapidité des services d'alerte. Le radar E détecte très bien les phénomènes météorologiques dangereux pour les personnes et les biens. Il permet en effet de détecter très tôt les vents dangereux et d'estimer la pluviométrie, ce qui est très utile pour la prévision des crues des cours d'eau et des inondations.

Ces radars forment un réseau intégré qui couvre la totalité du territoire des Etats-Unis d'Amérique, Guam, Porto Rico, le Japon, la Corée du Sud, la Chine et le Portugal. La bande 2 700-2 900 MHz offre d'excellentes caractéristiques atmosphériques et de propagation concernant les possibilités de prévision météorologiques et d'alerte. Les améliorations techniques qu'il est prévu d'apporter à ces radars devraient contribuer à étendre leur durée de vie jusqu'à 2040.

4.2 Radars de radionavigation aéronautique

Dans le monde entier, les radars de surveillance d'aéroport fonctionnent dans la bande de fréquences 2 700-2 900 MHz. Le Tableau 1 décrit quatre types représentatifs de radars d'ATC, notés de A à D. Ces radars assurent la surveillance d'approche des aéroports en balayant généralement un angle de 360°, 24 h sur 24. Les radars A à C sont en principe situés sur des aéroports; tous les aéroports importants sont normalement équipés d'un système radar similaire. Les radars A et B représentent la génération des radars actuellement utilisés. Le radar C représente la prochaine génération qui devrait compléter et/ou remplacer les radars A et B après l'année 2010. Le radar D est un système transportable utilisé pour l'ATC sur les aéroports qui ne disposent pas d'installations existantes. En service, il fonctionne 24 h sur 24. Certains radars de ce type fonctionnent en mode de diversité de fréquence nécessitant deux assignations de fréquence par radar.
