

RECOMMANDATION UIT-R M.1730

Caractéristiques et critères de protection des radars du service de radiorepérage dans la bande de fréquences 15,7-17,3 GHz

(Question UIT-R 226/8)

(2005)

Domaine de compétence

La présente Recommandation fixe les caractéristiques techniques et les critères de protection des systèmes de radiorepérage exploités dans la bande 15 700-17 300 MHz qui est attribuée au service de radiorepérage à titre primaire. Elle a été élaborée comme document ressource destiné à étayer des études de partage parallèlement à la Recommandation UIT-R M.1461 établissant des procédures d'analyse pour déterminer la compatibilité entre des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage et les systèmes d'autres services.

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 le service de radiorepérage sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande;
- c) que l'UIT-R envisage la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes ou de services dans des bandes entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars du service de radiorepérage;
- d) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes dans les bandes de fréquences attribuées au service de radiorepérage;
- e) que des procédures et des méthodologies pour analyser la compatibilité des radars du service de radiorepérage avec les systèmes d'autres services sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1461;
- f) que la bande de fréquences 15,7-17,3 GHz est attribuée au service de radiorepérage à titre primaire,

reconnaissant

- a) que les critères de protection requis dépendent des types spécifiques de signaux brouilleurs;
- b) que l'application de critères de protection rendra éventuellement nécessaire d'examiner la possibilité d'inclure la nature statistique des critères et d'autres éléments de la méthodologie pour effectuer des études de compatibilité (par exemple, balayage de l'antenne, y compris déplacement de l'émetteur, et affaiblissement dû à la propagation). L'approfondissement ultérieur de ces considérations statistiques devra éventuellement être pris en compte dans les révisions futures de la présente Recommandation et, au besoin, d'autres Recommandations connexes,

recommande

- 1 de considérer les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars du service de radiorepérage visées à l'Annexe 1 comme représentatives des radars fonctionnant dans la bande de fréquences 15,7-17,3 GHz;
- 2 d'utiliser la présente Recommandation parallèlement à la Recommandation UIT-R M.1461 comme référence pour analyser la compatibilité entre les radars du service de radiorepérage et les systèmes d'autres services;
- 3 d'utiliser le rapport de la puissance du signal brouilleur sur la puissance de bruit du récepteur radar, ou rapport I/N , fixé dans la Recommandation UIT-R M.1461 à -6 dB comme niveau de protection requis et, en présence de plusieurs brouilleurs, comme niveau de protection net.

NOTE 1 – La présente Recommandation devra être révisée au fur et à mesure que des informations plus détaillées seront disponibles.

Annexe 1

Caractéristiques et critères de protection des radars du service de radiorepérage dans la bande de fréquences 15,7-17,3 GHz

1 Introduction

Les caractéristiques des radars du service de radiorepérage exploités dans le monde entier dans la bande de fréquences 15,7-17,3 GHz sont présentées dans le Tableau 1 et décrites dans les paragraphes ci-dessous.

2 Caractéristiques techniques

La bande 15,7-17,3 GHz est utilisée par de nombreux types de radars différents, soit implantés au sol, soit transportables, ou encore embarqués à bord de navires ou d'aéronefs. Les fonctions de radiorepérage exercées dans cette bande comprennent les recherches à partir d'aéronefs ou en surface, les représentations au sol (ground mapping), le suivi de relief, le radiorepérage en mer et l'identification de cibles. On peut supposer que les fréquences d'exploitation des radars sont uniformément étalées sur toute la gamme d'accordage de chaque radar. Le Tableau 1 résume les caractéristiques techniques de radars de radiorepérage représentatifs, mis en œuvre dans la bande 15,7-17,3 GHz.

Les principaux radars de radiorepérage exploités dans cette bande servent principalement à la détection d'objets aéroportés et certains étant utilisés pour la représentation au sol; ils ont à mesurer l'altitude, la distance et le relèvement des cibles et à constituer des cartographies de relief. Certaines des cibles en l'air ou au sol sont petites, d'autres peuvent se trouver à 300 milles nautiques de distance (556 km), de sorte que les radars de radiorepérage doivent avoir une grande sensibilité et doivent pouvoir éliminer dans une grande proportion toutes les formes de signaux parasites en retour, provenant en particulier de la mer, de la terre ou des précipitations.

Les utilisations auxquelles on les destine expliquent en grande partie que les radars de radiorepérage utilisant cette bande tendent à avoir les caractéristiques générales suivantes:

- à de notables exceptions près, émetteurs de puissance moyenne et de puissance crête élevées;
- émetteurs utilisant plutôt des amplificateurs de puissance par oscillateur pilote que des oscillateurs de puissance; peuvent être normalement accordés, certains étant agiles en fréquences; certains utilisent la modulation MF linéaire (codage) ou la modulation codée en phase entre impulsions;
- parfois les faisceaux principaux d'antenne sont électroniquement orientables en azimut et en élévation;
- utilisation d'appareils/fonctions de réception et de traitement variés, par exemple antennes de réception auxiliaire à occultation de lobes latéraux, traitement de trains d'impulsions avec porteuse à phase cohérente pour éliminer les signaux parasites au moyen de techniques d'indication de cible en déplacement et de taux de fausses alarmes prolongées, et, dans certains cas, choix adaptable de fréquences d'exploitation sur la base de la détection de brouillages sur diverses fréquences.

Le Tableau 1 résume les caractéristiques techniques de systèmes représentatifs, mis en œuvre dans ces bandes. L'information donnée suffit pour procéder à des calculs généraux destinés à estimer la compatibilité entre ces radars et d'autres systèmes. Certains ou la totalité des radars de radiorepérage dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1 possèdent les propriétés ci-dessus, bien qu'ils n'illustrent pas toute la gamme des possibilités dont pourraient être dotés de futurs systèmes.

TABLEAU 1

Caractéristiques des radars de radiorepérage dans la bande 15,7-17,3 GHz

Caractéristiques	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Fonction	Radar de recherche, de poursuite et de représentation au sol (multifonctions)	Radar de recherche, de poursuite et de représentation au sol (multifonctions)	Surveillance aérienne, aide à l'atterrissage, poursuite et exploration	Surveillance	Surveillance et poursuite au sol
Type de plate-forme	Aéroportée, faible puissance	Aéroportée, puissance élevée	De navire, puissance élevée	Implantée au sol, faible puissance	Implantée au sol, puissance élevée
Gamme d'accord (GHz)	16,2-17,3	16,29-17,21	15,7-17,3	16,21-16,5	15,7-16,2
Modulation	MF linéaire variable	Impulsion MF linéaire	Saut de fréquence	Chirp MF linéaire	Saut de fréquence
Puissance de crête à l'émission (W)	80	700	20 k	2	10 k
Largeur de l'impulsion (μ s)	18,2; 49	120-443	0,1	5,5	36
Temps de montée/descente de l'impulsion (ns)	20	4	7/70	10	8
Taux de répétition des impulsions (pps)	5 495; 2 041	900-1 600	4 000; 21 600	7 102	20 000
Facteur d'utilisation maximum	0,1	Pas indiqué	0,00216	0,039	0,00072
Dispositif de sortie	Tube à ondes progressives	Tube à ondes progressives	Tube à ondes progressives	Transistor	Tube à ondes progressives
Type de diagramme d'antenne	Eventail/pinceau	Eventail	Pinceau	Pinceau	Pinceau
Type d'antenne	Guide d'ondes à fente	Antenne à balayage électronique	Antenne à balayage électronique plane	Elliptique avec contour parabolique	Réflecteur incurvé double avec cornet d'alimentation
Polarisation d'antenne	Verticale linéaire	Verticale linéaire	Circulaire droite	Horizontale	Circulaire
Gain d'antenne (dBi)	25,6	38,0	43,0	37,0	43
Largeur angulaire en élévation (degrés)	9,7	2,5	1	1,1	1,6
Largeur angulaire en azimut (degrés)	6,2	2,2	1	3,5	0,25
Fréquence de balayage horizontal	30°/s	5°/s	1 500 balayages/min	7,8 ou 15,6°/s	360°/s à 60 rpm

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Type de balayage horizontal (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	±45° à ±135° (mécanique)	±30° (électronique, conique)	±40° (mécanique)	180° (mécanique)	360° (continu)
Fréquence de balayage vertical	30°/s	5°/s	1 500 balayages/min	Pas applicable	Pas applicable
Type de balayage vertical	-10° à -50° (mécanique)	0° à -90° (électronique, conique)	+30/-10° (mécanique)	+22,5°/-33,75° (mécanique)	Pas applicable
Niveau du 1er lobe latéral	10 dBi à 31°	18 dBi à 1,7°	20 dBi à 1,6°	15 dBi à 2,4°	23 dBi à 1,6°
Hauteur d'antenne	Altitude de l'aéronef	Altitude de l'aéronef	Montée sur mât/pont	Niveau du sol	100 m
Largeur de bandes FI 1er/2ème récepteur -3 dB (MHz)	215/68	26,7 (bande large); 7,2 (bande étroite)	70/40	500/0,750	50
Valeur de bruit du récepteur (dB)	4	2,7	Pas indiquée	4	1 + (860/290) 860 = Température de bruit du récepteur, K 290 = Température de bruit sur Terre, K 3,97
Signal minimum discernable (dBm)	-89	-97,4	-80	-100,4	-92
Largeur de bande des chirp (MHz)	≤640	Pas indiquée	30	0,750	Pas indiquée
Largeur de bande à l'émission RF (MHz): -3 dB -20 dB	622; 271 725; 324	1 200; 600; 180 1 220; 620; 200	6,8; 37 20; 42	0,608 2,35	540 670

2.1 Emetteurs

Les radars exploités dans la bande 15,7-17,3 GHz utilisent diverses modulations, depuis la modulation en fréquence jusqu'à la modulation par codage de phase en passant par l'absence de modulation. Des dispositifs de sortie à faisceau linéaire ou à semi-conducteurs sont utilisés à l'étage final des émetteurs; dans les nouveaux systèmes radar, cette tendance est dictée par les exigences en matière de traitement du signal Doppler. Par ailleurs, les radars dotés de dispositifs de sortie à semi-conducteurs ont des puissances de sortie crête au niveau de l'émetteur moins élevées et des facteurs d'utilisation en impulsions plus importants.

Les radars exploités dans la bande 15,7-17,3 GHz ont des largeurs de bande types (3 dB) pour une émission RF au niveau de l'émetteur comprise entre 60 kHz et 1 200 MHz. Quant aux puissances de sortie crête au niveau de l'émetteur, elles vont de 2 W (33,01 dBm) pour des émetteurs à semi-conducteurs à 20 kW (73,01 dBm) pour des radars de forte puissance utilisant des dispositifs à champs croisés (magnétrons) et des dispositifs à faisceau linéaire (tubes à ondes progressives).

2.1.1 Saut de fréquence

Le saut de fréquence est une des techniques les plus courantes de contre-mesures électroniques (CCME) et est utilisé en particulier par les systèmes radar qui sont destinés à être utilisés dans des environnements électroniques hostiles. Ce type de radar est conçu pour diviser la bande de fréquences qui lui a été attribuée en canaux parmi lesquels il en choisit un de manière aléatoire, l'occupation aléatoire d'un canal pouvant se faire sur une base faisceau (dans ce cas, plusieurs impulsions sont transmises sur le même canal) ou sur une base impulsion. Il convient en conséquence de tenir compte de cet aspect des systèmes radar dans les études de partage ainsi que des conséquences pouvant découler de l'utilisation de radars utilisant le saut de fréquence.

2.2 Récepteurs

Les systèmes radar de la dernière génération utilisent le traitement du signal numérique après les opérations de détection en distance et en azimut et de traitement Doppler. En général, le traitement du signal fait appel à des techniques qui servent à affiner la détection de cibles particulières et pour indiquer sur l'écran ces cibles sous forme de symboles. Les techniques de traitement du signal utilisées à cette fin permettent par ailleurs d'éliminer le brouillage dû à des impulsions dont le facteur d'utilisation est faible (moins de 5%), brouillage qui est asynchrone par ailleurs au signal recherché.

Les techniques de traitement du signal dans les radars de la dernière génération utilisent des impulsions modulées en fréquence (codage) ou codées en phase afin de produire un gain de traitement pour le signal recherché, tout en permettant d'éliminer les signaux non désirés.

Certains des radars à semi-conducteurs et à faible puissance de la nouvelle génération privilégient le traitement des signaux multiplex à faible facteur d'utilisation (10%) pour améliorer le retour des signaux souhaités. Certains récepteurs radar ont la capacité d'identifier les canaux RF qui ont de faibles niveaux de signaux non désirés et de faire émettre l'émetteur sur ces canaux.

2.3 Antennes

Les radars exploités dans la bande 15,7-17,3 GHz utilisent différents types d'antenne, dont les dimensions dans cette bande varient en règle générale au point qu'elles présentent un intérêt pour des applications pour lesquelles la mobilité, la légèreté et la portée sont des atouts. De nombreux radars dans la bande 15,7-17,3 GHz sont exploités selon différents modes, notamment pour la recherche, la représentation au sol et la navigation (observations météorologiques). Leurs antennes ont normalement un balayage sur 360° dans le plan horizontal. D'autres radars dans la bande sont plus spécialisés et limitent leur balayage à un secteur fixe. La plupart des radars dans la bande

15,7-17,3 GHz utilisent le balayage mécanique, bien que les radars de la dernière génération utilisent des antennes à balayage électronique. Les polarisations utilisées sont horizontales, verticales ou circulaires. Les antennes sont placées à une hauteur type de 8 m pour les radars au sol et de 100 m au-dessus du niveau de la mer pour les radars embarqués à bord de navires.

3 Critères de protection

En règle générale, un signal émanant d'un autre service et donnant un rapport I/N inférieur à -6 dB est acceptable par les utilisateurs des systèmes radar. En ce qui concerne les signaux émanant de cet autre service et présentant un facteur d'utilisation élevé (par exemple, onde entretenue, MDP-2, MDP-4, signal à caractère de bruit, etc.). Un rapport I/N de -6 dB correspond une valeur de $(I + N)/N$ de 1,26, soit approximativement une augmentation de 1 dB de la puissance de bruit au niveau du récepteur radar. Il faudra éventuellement procéder à de nouvelles études ou à des mesures de compatibilité pour évaluer l'incidence opérationnelle du brouillage sur la qualité de fonctionnement des systèmes radar. Il convient d'observer que des études sont actuellement consacrées à la faisabilité de l'utilisation des aspects statistiques et opérationnels en vue de la détermination des critères de protection des systèmes radar du service de radiopérage. Cette approche statistique peut être particulièrement bien adaptée dans le cas de signaux non continus. Pour ce qui est des systèmes radar exploités dans la bande pour laquelle il existe une Recommandation UIT-R relative aux caractéristiques et critères de protection des radars, il conviendrait de se reporter au texte pertinent¹ pour avoir une idée précise des critères de protection applicables.

Il est par contre plus difficile de quantifier l'effet de brouillages pulsés qui est étroitement tributaire de la conception des récepteurs et des processeurs ainsi que de leur mode de fonctionnement. En particulier, les gains de traitement différentiel pour les retours de cible valables (pulsés synchrones) et les signaux brouilleurs (normalement asynchrones) ont souvent un effet important sur les niveaux donnés de brouillages pulsés. Par suite de cet abaissement de la sensibilité la qualité de fonctionnement peut faire l'objet de différentes formes de dégradation, dont l'évaluation devra être un objectif des analyses qui seront consacrées aux interactions entre des types de radars spécifiques. D'une façon générale, il est possible de s'appuyer sur plusieurs fonctions des radars du service de radiopérage pour éliminer des brouillages pulsés auxquels est associé un facteur d'utilisation faible, notamment dans le cas de sources isolées peu nombreuses. Des techniques de suppression des brouillages pulsés associées à un faible coefficient d'utilisation sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1372 – Utilisation efficace du spectre radioélectrique par les stations radar du service de radiopérage.

Dans le cas de plusieurs brouilleurs, le rapport de protection I/N recommandé demeure inchangé (car il dépend du type de récepteur radar et des caractéristiques de ses fonctions de traitement du signal). La quantité totale de brouillage parvenant effectivement jusqu'au récepteur radar (qui doit donc être comparée au rapport de protection I/N) dépend quant à elle du nombre de brouilleurs, de leur distribution dans l'espace et de la structure de leur signal, et doit être évaluée dans le cadre d'une analyse cumulative d'un scénario donné. En effet, si les brouillages proviennent de plusieurs directions, l'analyse doit faire la somme des contributions simultanées de tous les brouillages, reçues par l'intermédiaire du lobe principal et/ou des lobes latéraux de l'antenne radar, afin d'estimer les chances de compatibilité.

¹ Exemples de Recommandations UIT-R fixant les caractéristiques techniques et les critères de protection dans certaines bandes : UIT-R M.1313, UIT-R M.1460, UIT-R M.1462, UIT-R M.1463, UIT-R M.1464, UIT-R M.1465, UIT-R M.1638 et UIT-R M.1466.

4 Futurs systèmes de radiorepérage

Schématiquement, les radars de radiorepérage qui pourraient être conçus dans l'avenir pour fonctionner dans la bande 15,7-17,3 GHz devraient ressembler aux radars existants, décrits ici.

Les radars de radiorepérage de demain devraient être au moins aussi flexibles que les radars visés ci-dessus, et devraient pouvoir opérer indifféremment dans plusieurs secteurs en azimut et en élévation.

Il est raisonnable de penser que certains modèles devraient pouvoir opérer dans une bande large, s'étendant au moins aux limites visées dans la présente Recommandation.

Dans cette bande, les radars de radiorepérage de demain utiliseront vraisemblablement des antennes qui seront orientables électroniquement, mais du fait de la technologie actuelle le pilotage par phase est une alternative pratique et séduisante en lieu et place du pilotage par fréquence, au point qu'un nombre élevé de radars de radiorepérage mis au point ces dernières années destinés à être utilisés dans d'autres bandes utilisent le pilotage par phase tant en azimut qu'en élévation. Contrairement aux radars pilotés par fréquence, les nouveaux systèmes électroniques peuvent caler une fréquence fondamentale à l'intérieur de la bande d'exploitation du radar sur n'importe quel azimut/élévation arbitraire à l'intérieur de leur zone de couverture angulaire, un des avantages étant de faciliter bien souvent la compatibilité électromagnétique.

Il faudra par ailleurs que la capacité de puissance moyenne de certains de ces radars soit au moins aussi élevée que celle des systèmes mentionnés dans les paragraphes précédents. Néanmoins, on peut raisonnablement s'attendre à ce que les concepteurs de ces futurs radars fassent tout pour ramener les émissions de bruit large bande au-dessous du niveau des systèmes existants qui emploient des magnétrons ou des amplificateurs à champs croisés. Cette réduction de bruit devrait être possible grâce à l'utilisation de systèmes émetteur/antenne à semi-conducteurs; dans ce cas les impulsions émises seraient plus longues et les coefficients d'utilisation au niveau des émetteurs seraient nettement plus importants que ceux de la plupart des émetteurs radar à tube du passé.
