

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1465-2
(02/2015)

Caractéristiques et critères de protection des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz

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, 2016

© UIT 2016

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.1465-2

**Caractéristiques et critères de protection des radars fonctionnant
dans le service de radiorepérage dans la gamme
de fréquences 3 100-3 700 MHz**

(2000-2007-2015)

Domaine de compétence

La présente Recommandation définit les caractéristiques techniques et d'exploitation, ainsi que les critères de protection des radars au sol, à bord de navires et aéroportés fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz. Elle contient aussi les caractéristiques représentatives des émetteurs, récepteurs et antennes, ainsi que des données sur la mise en œuvre de ces radars.

Mots clés

Caractéristiques, critères de protection, radar de navire, radar au sol, radar aéroporté

Abréviations/glossaire

AMSL	au-dessus du niveau moyen de la mer (<i>above mean sea level</i>)
ATC	contrôle du trafic aérien (<i>air traffic control</i>)
MTI	indication de cible en mouvement (<i>moving target indication</i>)
PPI	écran radar panoramique (<i>planned position indicator</i>)

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 leurs fonctions 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 de fréquences;
- c)* que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro **4.10** du Règlement des radiocommunications (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 certaines Commissions d'études 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 de fréquences entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars du service de radiorepérage;
- f)* que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes fonctionnant dans les bandes de fréquences attribuées au service de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes;

- g) que des procédures et des méthodologies sont nécessaires pour analyser la compatibilité des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage avec les systèmes d'autres services;
- h) que la bande de fréquences 3 100-3 400 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre primaire dans les trois Régions;
- i) que la bande de fréquences 3 400-3 600 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre secondaire dans la Région 1;
- j) que la bande de fréquences 3 400-3 600 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre primaire dans les Régions 2 et 3;
- k) que la bande de fréquences 3 600-3 700 MHz est attribuée au service de radiolocalisation à titre secondaire dans les Régions 2 et 3;
- l) que la bande de fréquences 3 100-3 300 MHz est de plus attribuée au service de radionavigation à titre primaire dans les pays énumérés au numéro 5.428 du RR,

reconnaisant

- a) qu'aux termes du numéro 5.433 du RR, dans les Régions 2 et 3, dans la bande de fréquences 3 400-3 600 MHz, l'attribution au service de radiolocalisation est à titre primaire. Toutefois, toutes les administrations qui exploitent des systèmes de radiolocalisation dans cette bande de fréquences sont instamment priées d'en cesser l'exploitation avant 1985. Après quoi, les administrations prendront toutes les mesures pratiquement possibles pour protéger le service fixe par satellite et faire en sorte que des besoins de coordination ne soient pas imposés au service fixe par satellite,

recommande

- 1 que les caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radiolocalisation décrits dans l'Annexe 1 soient considérées comme représentatives des systèmes fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz;
- 2 que la Recommandation UIT-R M.1461 soit utilisée comme directive pour l'analyse de la compatibilité des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage avec les systèmes d'autres services;
- 3 qu'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 systèmes de radiolocalisation et représente le niveau de protection net si plusieurs brouilleurs sont présents.

Annexe 1

Caractéristiques techniques et d'exploitation des radars de radiolocalisation fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz

1 Introduction

Les caractéristiques des radars de radiolocalisation fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz sont présentées au Tableau 1 et sont traitées en détail dans les paragraphes suivants.

TABLEAU 1

Caractéristiques des systèmes de radiolocalisation fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz

Paramètre	Unité	Systèmes au sol		Systèmes de navire				Systèmes aéroportés
		A	B	A	B	C	D	A
Utilisation		Recherche surface/air	Recherche de surface	Recherche surface/air				Recherche surface/air
Modulation		P0N/Q3N	P0N	P0N	Q7N	P0N/Q7N	Q7N	Q7N
Plage de syntonisation	GHz	3,1-3,7		3,5-3,7	3,1-3,5	3,1-3,5		3,1-3,7
Puissance de l'émetteur fournie à l'antenne (de crête)	kW	640	1 000	1 000	4 000-6 400	60-200	4-90	1 000
Largeur d'impulsion	µs	160-1 000	1,0-15	0,25; 0,6	6,4-51,2	0,1-1 000	0,1-100	1,25 ⁽¹⁾
Fréquence de répétition des impulsions	kHz	0,020-2	0,536	1,125	0,152-6,0	0,3-10	0,5-10	2
Rapport de compression		48 000	Sans objet	Sans objet	64-512	Jusqu'à 20 000	Jusqu'à 400	250
Type de compression		Non disponible	Sans objet	Sans objet	MDFCC	Non disponible	Non disponible	Non disponible
Coefficient d'utilisation	%	2-32	0,005-0,8	0,28; 0,67	0,8-2,0	20 au plus	20 au plus	5
Largeur de bande de l'émetteur (-3 dB)	MHz	25/300	2	4; 16,6	4	25	3,15	> 30
Gain d'antenne	dBi	39	40	32	42	Jusqu'à 40	Jusqu'à 40	40
Type d'antenne		Parabolique		Parabolique	BE			PF
Ouverture du faisceau de l'antenne (H,V)	degrés	1,72	1,05; 2,2	1,75; 4,4 jusqu'à 30 pour csc ²	1,7; 1,7	1,1-5; 1,1-5	1,5-6; 4-20	1,2; 6,0
Type de balayage vertical		Non disponible	Sans objet	Sans objet	Aléatoire	Sans objet	Sans objet	Non disponible
Balayage vertical maximal	degrés	93,5	Sans objet	Sans objet	90	90	90	± 60
Vitesse du balayage vertical	degrés/s	15	Sans objet	Sans objet		Instantanée		Non disponible
Type de balayage horizontal		Sans objet	Rotatif	Rotatif	Aléatoire	Continu 360° + Sectoriel	Continu 360° + Sectoriel	Rotatif
Balayage horizontal maximal	degrés	360		360			360	360

TABLEAU 1 (suite)

Paramètre	Unité	Systèmes au sol		Systèmes de navire				Systèmes aéroportés
		A	B	A	B	C	D	A
Vitesse du balayage horizontal	degrés/s	15	25,7	24	Sans objet	30-360	50-180	36
Polarisation		Circulaire droite	V	H	V	Non disponible	V	Non disponible
Sensibilité de l'émetteur	dBm	Non disponible	-112	-112	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Non disponible
Critère S/N	dB	Sans objet	0	14	Non disponible	Non disponible	Non disponible	Non disponible
Facteur de bruit du récepteur	dB	3,1	4,0	4,8	5,0	1,5	1,5	3
Largeur de bande RF du récepteur (-3 dB)	MHz	Non disponible	2,0	Non disponible		400		Non disponible
Largeur de bande FI du récepteur (-3 dB)	MHz	380	0,67	8	10	10-30	2-20	1
Zone de service		Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier

(1) Compression sur 100 ns.

BE: Balayage électronique en phase

MDFPC: Modulation par déplacement de fréquence à phase continue

PF: Panneau à fentes

2 Caractéristiques techniques

La gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz est utilisée par les radars équipés d'installations au sol, à bord de navires et à bord d'aéronefs. Les radars mobiles sont surtout utilisés à bord de navires et d'aéronefs, alors que les systèmes fixes au sol sont utilisés à bord de ballons captifs destinés à la surveillance au-dessus de zones terrestres ou côtières, dans des polygones d'essai. Leurs fonctions comprennent la recherche d'objets aéroportés de basse et haute altitude, la surveillance en mer, la poursuite d'objets aéroportés et l'application d'appareillages sur polygones d'essai polyvalents. La modulation d'impulsions non modulées et la modulation d'impulsions à modulation angulaire sont toutes les deux employées; la puissance de crête type de l'émetteur est comprise entre 500 kW et 6 400 kW. De faibles coefficients d'utilisation sont utilisés pour des fonctions de radars de recherche avec des valeurs types inférieures à 1%. Le facteur de bruit du récepteur est généralement compris entre 3,1 dB et 16 dB. Les caractéristiques représentatives de deux systèmes de radar au sol, de deux systèmes à bord de navires et d'un système aéroporté fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz sont indiquées au Tableau 1.

2.1 Radars au sol

2.1.1 Opérations des radars au sol

Les radars au sol fonctionnant dans la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz sont en général utilisés pour des opérations d'essai à l'intérieur et à l'extérieur de polygones d'essai. Un nombre d'entre eux sont mobiles dans le sens où ils sont souvent montés sur des véhicules à roues utilisés pour pouvoir être déplacés afin de fournir à des véhicules aéroportés des fonctions de recherche et de poursuite le long de trajectoires de vol étendues. D'autres radars assurant également des fonctions de recherche et de poursuite sont installés en des points fixes sur des polygones d'essai. Le système au sol B du Tableau 1, dont le ballon captif atteint 4 600 m d'altitude, permet d'assurer une surveillance étendue d'un polygone jusqu'à 275 km. Le système au sol A du même tableau fonctionne principalement le jour lorsque les conditions de vol sont favorables et, occasionnellement, de nuit, alors que les radars à bord de ballons captifs fonctionnent en permanence.

2.1.2 Emetteurs

Les émetteurs sont réglables et peuvent fonctionner n'importe où à l'intérieur de la gamme de fréquences 3 100-3 700 MHz. La modulation d'impulsions non modulées et la modulation d'impulsions à modulation angulaire monocanal et multicanaux sont utilisées.

2.1.3 Récepteurs

Un grand nombre de récepteurs de radars de polygones d'essai sont équipés de circuits-portes spéciaux utilisés pour la corrélation de données vidéo et pour l'alimentation de données à divers écrans, consoles opérateur ou dispositifs d'enregistrement. Les données vidéo reçues par le radar du ballon captif sont retransmises par des systèmes radio (service fixe) et filaires à des installations d'opérateurs au sol.

2.1.4 Antennes

Les antennes sont conçues pour un usage spécifique sur le polygone d'essai mais elles fonctionnent avec un gain du faisceau principal allant jusqu'à 40 dBi, sont guidées électroniquement et sont généralement dirigées vers le ciel dans des directions aléatoires, ce qui augmente les chances d'illumination d'objets spatiaux et de réception d'énergie en provenance de ces objets. Les radars à ballon captif dirigent leurs antennes en direction de l'horizon, quelques degrés au-dessus.

2.2 Radars de navire

2.2.1 Opérations sur navire

Le Tableau 1 décrit quatre types représentatifs de radars de navire, les systèmes A à D, fonctionnant dans la gamme de fréquences 3,1-3,7 GHz. Le système A est utilisé comme système primaire de contrôle du trafic aérien pour porte-aéronefs. Le système B est un radar multifonctions utilisé à bord de navires d'escorte. Ces radars fonctionnent en bord de mer et en haute mer, généralement 24 h sur 24; il n'est pas rare que plus de dix d'entre eux soient en service simultanément lorsqu'ils escortent d'autres navires. Outre des systèmes de navire, il existe des systèmes fixes au sol utilisés à des fins de formation et d'essai. Par ailleurs, certaines opérations d'essai et de maintenance courantes exigent une utilisation occasionnelle de ces radars en zone portuaire. Un navire équipé d'un système A est presque toujours accompagné d'au moins un navire équipé du système B.

2.2.2 Emetteurs

Le système A émet dans la bande de fréquences 3 500-3 700 MHz à une puissance de crête de 1 000 kW. Le système B émet dans la gamme de fréquences 3 100-3 500 MHz à une puissance de crête de 6,4 MW et utilise une combinaison de modulation de phase et de saut de fréquence. Les émissions sont agiles en fréquence sur dix bandes de fréquences de 40 MHz de longueur chacune, désignées de 1 à 10. La séquence des largeurs d'impulsions variables est aléatoire.

2.2.3 Récepteurs

Les récepteurs du système A sont décrits au Tableau 1. Ils possèdent les fonctions courantes des systèmes de contrôle du trafic aérien (ATC, *air traffic control*) pour la réduction du fouillis radar et des fausses cibles, l'indication d'une cible en mouvement (MTI, *moving target indication*), la sélection courte/grande distance et l'alimentation d'oscilloscopes à écran radar panoramique en données vidéo; la plage de syntonisation des récepteurs est la même que celle des émetteurs. Les récepteurs du système B fonctionnent dans la gamme de fréquences 3 100-3 500 MHz. Les caractéristiques de ces récepteurs ne sont pas disponibles mais on suppose qu'il s'agit de récepteurs modernes dont le gain de traitement doit être très élevé de façon que puissent être détectés des objets multiples et variés à de grandes distances, avec un fort fouillis radar et dans des conditions météorologiques défavorables.

2.2.4 Antennes

Le système A utilise une antenne de type réflecteur rotatif mécanique dont l'ouverture du faisceau est de $1,75^\circ$ en azimut et dont le faisceau csc^2 est compris entre $4,4^\circ$ et 30° en élévation avec un gain dans le lobe principal de 32 dBi. La hauteur d'antenne nominale est de 46 m au-dessus du niveau moyen de la mer (AMSL, *above mean sea level*). Le système B utilise quatre antennes planes à balayage et à pointage électronique assurant une couverture de 360° avec un gain dans le lobe principal de 42 dBi. La hauteur nominale de l'antenne du radar B est de 20 m AMSL.

2.3 Radars aéroportés

Les radars aéroportés fonctionnant dans cette bande de fréquences profitent des propriétés du spectre sur cette longueur d'onde pour conduire des opérations de surveillance, de poursuite de cibles et d'ATC à grande distance. Les caractéristiques spectrales des radars aéroportés types fonctionnant dans cette bande de fréquences sont décrites au Tableau 1. Ces radars, placés à bord d'aéronefs de surveillance d'un certain nombre d'administrations, sont multifonctions, à balayage électronique et sont équipés d'une grande antenne panneau à fentes fixée au sommet de la cellule de l'aéronef. Cette antenne fournit un gain dans le lobe principal de 40 dBi et un gain dans le lobe latéral estimé à -10 dBi. L'aéronef transportant ces radars peut effectuer des opérations dans le monde entier. Outre

des fonctions de surveillance aérienne et d'ATC, les radars aéroportés ont également une fonction de surveillance maritime. Ils fonctionnent généralement à environ 9 000 m d'altitude pendant une durée pouvant atteindre 12 heures, selon la disponibilité de l'équipage. Dans certaines situations, une surveillance continue est assurée 24 heures sur 24 grâce à un aéronef de ravitaillement.

3 Critères de protection

Les radars sont affectés de façon fondamentalement différente par divers types de signaux brouilleurs et la différence est particulièrement marquée entre les effets de l'énergie de type bruit continu et les effets des impulsions.

Les systèmes qui utilisent la compression d'impulsion disposent d'une largeur de bande FI adaptée à l'impulsion comprimée et qui agit comme filtre adapté afin que la dégradation du rapport S/N soit minimale. Les filtres de compression d'impulsions peuvent être partiellement adaptés et ainsi accroître les effets du brouillage de type bruit. En pareil cas, un rapport I/N de -6 dB peut être insuffisant et il faudra peut-être procéder à de nouvelles études ou à des mesures de la compatibilité pour évaluer l'incidence opérationnelle du brouillage sur la qualité de fonctionnement du radar.

L'effet de désensibilisation des radars de radiorepérage dû à un brouillage par ondes entretenues de type bruit est probablement lié à l'intensité de ce brouillage. 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 système radar pour obtenir un résultat relativement fiable. Si la puissance de bruit du système radar en l'absence de brouillage est désignée par N et celle du brouillage de type bruit par I , on obtient la puissance du bruit effectif qui en résulte en additionnant simplement $I + N$.

Etant donné que les critères de protection des radars établis jusqu'à présent par l'UIT-R sont fondés sur les pénalités encourues pour maintenir le rapport signal/bruit du retour de cible en présence de brouillage, il est nécessaire que la puissance du retour de cible soit augmentée proportionnellement à l'augmentation de la puissance du bruit et passe de N à $I + N$. Cela ne peut se faire qu'en acceptant des portées maximales plus courtes pour des cibles données, en négligeant l'observation de petites cibles, ou en modifiant le radar de façon à augmenter sa puissance d'émission ou le produit puissance-ouverture. (Dans les radars modernes, le bruit du système de réception est généralement déjà proche d'un minimum irréductible et le traitement quasi optimal des signaux est courant.)

Ces pénalités varient selon la fonction du radar et la nature de ses cibles. Pour la plupart des systèmes radars, une augmentation du niveau de bruit effectif d'environ 1 dB correspondrait à la dégradation maximale tolérable de la qualité de fonctionnement. Dans le cas d'une cible discrète ayant une surface équivalente radar (RCS, *radar cross section*) moyenne ou médiane, cette augmentation réduirait la portée de détection d'environ 6% quelles que soient les caractéristiques de fluctuation RCS de cette cible. Cela est dû au fait que la portée en espace libre que l'on peut obtenir est proportionnelle à la racine quatrième du rapport de puissance signal/bruit (SNR) qui en résulte, si l'on se fonde sur le type d'équation de portée radar le plus courant. Une augmentation de la puissance du bruit effectif de 1 dB correspond à une multiplication par 1,26 de la puissance. Si cette augmentation n'est pas compensée, il faut réduire la portée en espace libre pour une cible discrète donnée de $1/((1,26)^{1/4})$, ou de $1/1,06$, ce qui représente une réduction de la portée d'environ 6%. Dans l'équation de la portée, le rapport SNR est aussi directement proportionnel à la puissance de l'émetteur, au produit puissance-ouverture (pour un radar de surveillance) et à la surface équivalente radar de la cible. Par conséquent, l'augmentation de 1 dB de la puissance du bruit effectif pourrait être compensée soit par la détection des cibles excepté celles ayant une surface équivalente radar moyenne 1,26 fois plus grande que celle de la cible de taille minimale qui pourrait être détectée en l'absence de brouillage, soit par une augmentation de 26% de la puissance de l'émetteur du radar ou de son produit puissance-ouverture. Toutes ces possibilités sont à la limite de l'acceptabilité dans la plupart des missions radars, et les

modifications des systèmes seraient coûteuses, difficilement réalisables, voire impossibles, en particulier dans les radars mobiles. Pour les cibles discrètes, ces pénalités de qualité de fonctionnement sont valables pour toute probabilité donnée de détection et de taux de fausse alarme et pour toutes les caractéristiques de fluctuation des cibles.
