

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1796-2
(02/2014)

**Caractéristiques des radars terrestres du
service de radiorepérage fonctionnant dans
la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz,
et critères de protection applicables à ces
radars**

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, 2015

© UIT 2015

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.1796-2

Caractéristiques des radars terrestres du service de radiorepérage fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz, et critères de protection applicables à ces radars*

(2007-2012-2014)

Domaine d'application

La présente Recommandation expose les caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radiorepérage fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz, ainsi que les critères de protection applicables à ces systèmes. Cette Recommandation a été établie dans le souci de faciliter les études de partage visées dans la Recommandation UIT-R M.1461, laquelle traite des procédures d'évaluation pouvant être appliquées pour déterminer la compatibilité des radars du service de radiorepérage et des systèmes d'autres services.

Mots clés

Radar, critères de protection, radar de recherche, brouillage, radiorepérage

Abréviations/glossaire

CFAR taux de fausse alarme constant

OMI Organisation maritime internationale

pps impulsions par seconde

SART transpondeur de recherche et de sauvetage

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les caractéristiques que doivent présenter les radars – caractéristiques d'antenne, de propagation, de signal et de détection des cibles – ainsi que l'importante largeur de bande qui leur est nécessaire, sont obtenues de façon optimale dans certains bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars de radiorepérage sont déterminées par la mission des systèmes et varient fortement, même à l'intérieur d'une bande de fréquences;
- c) que l'UIT-R envisage la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes ou de services dans les bandes de fréquences comprises entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par les radars du service de radiorepérage;
- d) qu'il faut établir des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes radars du service de radiorepérage pour déterminer, au besoin, s'il est possible d'introduire de nouveaux types de systèmes dans les bandes de fréquences attribuées au service de radiorepérage,

* Les caractéristiques des radars météorologiques au sol fonctionnant dans cette bande de fréquences figurent dans la Recommandation UIT-R M.1849.

notant

- a) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des balises radar maritimes fonctionnant dans la bande de fréquences 9 300-9 500 MHz sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.824;
- b) que les caractéristiques techniques des renforceurs d'échos radar fonctionnant dans la bande de fréquences 9 300-9 500 MHz sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1176;
- c) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des transpondeurs radar de recherche et de sauvetage fonctionnant dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.628,

reconnaissant

- a) que les critères de protection requis dépendent du type spécifique de signal brouilleur;
- b) que l'application des critères de protection peut imposer d'envisager l'inclusion de la nature statistique de l'application de ce type de critère et d'autres éléments de la méthodologie utilisée pour procéder aux études de compatibilité (par exemple, l'affaiblissement de propagation). D'autres développements de ces considérations statistiques ainsi que la probabilité de détection requise dans les divers scénarios d'exploitation maritime pourront être incorporés dans les futures révisions de la présente Recommandation, en fonction des besoins,

recommande

- 1 de considérer les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars de radiorepérage exposées dans l'Annexe 1 comme représentatives des systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz;
- 2 d'utiliser la présente Recommandation, conjointement avec la Recommandation UIT-R M.1461, pour l'analyse de la compatibilité entre des radars de radiorepérage et des systèmes d'autres services;
- 3 d'utiliser comme critère un rapport puissance de signal brouilleur/niveau de puissance de bruit du récepteur radar (I/N) de -6 dB comme niveau de protection requis pour les radars de radiorepérage, dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz, même en présence de signaux brouilleurs multiples (voir la Note 1);
- 4 d'utiliser les résultats des essais de sensibilité au brouillage effectués sur des radars de radionavigation maritime embarqués fonctionnant dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz, repris dans l'Annexe 3, pour évaluer les brouillages occasionnés aux radars de radionavigation montés à bord des navires, en notant que ces résultats concernent des cibles invariantes et que les variations de la surface équivalente radar (SER) doivent être prises en compte.

NOTE 1 – On trouvera de plus amples informations à l'Annexe 2.

Annexe 1

Caractéristiques techniques et d'exploitation des radars du service de radiorepérage dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz

1 Introduction

Les caractéristiques des radars de radiorepérage exploités dans le monde dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz sont exposées aux Tableaux 1, 2, 3 et 4 et décrites en détail dans les paragraphes qui suivent.

2 Caractéristiques techniques

La bande de fréquences 8 500-10 680 MHz est utilisée par un grand nombre de types différents de radars sur des plates-formes terrestres, transportables, à bord de navires ou à bord d'aéronefs. Les fonctions de radiorepérage dans cette bande de fréquences sont également très diverses: recherche en altitude et en surface, cartographie des sols, suivi du terrain, navigation (aéronautique ou maritime), identification de cible, météorologie (dans l'atmosphère ou au sol). D'autres différences importantes interviennent en ce qui concerne les facteurs d'utilisation au niveau des émetteurs, les largeurs de bande d'émission, la présence d'une modulation intra-impulsion et les types de modulation, les capacités éventuelles d'agilité en fréquence, les puissances de crête et les puissances moyennes des émetteurs et les types de systèmes d'émission radiofréquence. Individuellement et combinées, ces caractéristiques ont toutes des conséquences majeures sur la compatibilité entre les radars et les autres systèmes présents dans leur environnement, et d'autres caractéristiques ont une incidence sur cette compatibilité, mais à un degré moindre. On peut supposer que les fréquences d'exploitation des radars sont uniformément réparties dans la bande de fréquences d'accord de chaque radar. Les Tableaux 1, 2, 3 et 4 contiennent les caractéristiques techniques types des radars de radiolocalisation et de radionavigation exploités dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz, à l'exception de celles des radars météorologiques au sol, qui figurent dans la Recommandation UIT-R M.1849.

Les principaux radars de radiolocalisation exploités dans cette bande de fréquences sont avant tout utilisés pour la détection d'objets se déplaçant dans l'atmosphère. Ils sont nécessaires pour mesurer l'altitude, la distance et le cap de la cible. Certaines des cibles sont petites, d'autres situées à des distances pouvant atteindre 300 milles nautiques (environ 556 km), de sorte que ces radars doivent être extrêmement sensibles et dotés d'une forte capacité de suppression de tous les types d'échos parasites d'origine maritime ou terrestre ou dus aux précipitations. Dans certains cas, leurs émissions servent à déclencher des radiobalises radar.

En raison, pour une grande part, de ce cahier des charges, les radars utilisés dans cette bande de fréquences présentent normalement les caractéristiques générales suivantes:

- la puissance de crête et la puissance moyenne des émetteurs, à quelques exceptions notables près, sont généralement faibles à moyennes (de 1 W à 250 000 W);
- ils sont généralement dotés d'amplificateurs d'émission asservis à un oscillateur plutôt que d'oscillateurs de puissance. Ils sont généralement syntonisables, et parfois agiles en fréquence. Certains utilisent une modulation de fréquence (compression d'impulsions) linéaire – ou non linéaire – ou une modulation intra-impulsion par codage de phase;
- dans certains systèmes, les faisceaux principaux sont orientables sur une ou deux dimensions (orientation électronique des faisceaux);

- ils ont généralement des capacités de réception et de traitement très souples (antennes de réception auxiliaires à suppression des lobes latéraux, traitement des trains d'impulsions à porteuse cohérente assurant la suppression des échos parasites par indication de cible mobile, techniques de taux de fausse alarme constant et, dans certains cas, sélection adaptative des fréquences d'exploitation sur la base des brouillages détectés sur diverses fréquences);
- certains systèmes peuvent souvent fonctionner avec un grand nombre de largeurs d'impulsion et de fréquences de répétition d'impulsion différentes; certains radars à compression d'impulsions peuvent fonctionner avec différentes largeurs de bande d'impulsion comprimée; certains radars agiles en fréquence sont dotés d'un grand nombre de modes de fonctionnement avec ou sans (fréquence fixe) agilité en fréquence, et cette souplesse peut être extrêmement utile lorsqu'il s'agit de maintenir la compatibilité avec les autres radars présents dans l'environnement considéré.

Certains des radars dont les caractéristiques sont présentées dans les Tableaux 1, 2, 3 et 4, et parfois la totalité de ces systèmes, sont dotés de ces fonctionnalités. Comportant un grand nombre de données, ces tableaux illustrent la grande diversité des missions des radars, des plates-formes de ces systèmes, des formes d'ondes, des largeurs de bande, des facteurs d'utilisation, des niveaux de puissance, des circuits émetteurs, etc., des dispositifs utilisés dans cette bande de fréquences, sans pour autant rendre compte de l'intégralité des attributs que pourraient présenter les futurs systèmes.

TABLEAU 1

Caractéristiques des radars de radiorepérage à bord d'aéronefs fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz

Caractéristiques	Unité	Système A1	Système A2	Système A3	Système A4
Fonction		Radar de recherche et de poursuite (multifonctions)	Radar de recherche aéroporté	Radar de cartographie des sols et de suivi de terrain (multifonctions)	Radar de poursuite
Gamme d'accord	MHz	9 300-10 000	8 500-9 600	9 240, 9 360 et 9 480	10 000-10 500
Modulation		Impulsion	Impulsion	Modulation par position d'impulsion agile en fréquence non cohérente	Ondes entretenues, ondes entretenues modulation de fréquence
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	17	143 (minimum) 220 (maximum)	95	1,5
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	0,285; 8 200 à 23 000	2,5; 0,5 400 et 1 600	0,3, 2,35 et 4 respectivement 2 000, 425 et 250	Sans objet
Coefficient d'utilisation maximal		0,0132	0,001	0,001	1
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	0,01/0,01	0,02/0,2	0,1/0,1	Sans objet
Système de sortie		Tube à ondes progressives	Magnétron syntonisable	Résonateur syntonisable à cavités	Tube à ondes progressives
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Crayon	Eventail	Crayon	Crayon
Type d'antenne		Réseau plan	Réflecteur parabolique	Réseau plan d'antennes planes	Réseau plan
Polarisation de l'antenne		Rectiligne	Rectiligne	Circulaire	Rectiligne
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	32,5	34	28,3	35,5
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	4,6	3,8	5,75	2,5

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A1	Système A2	Système A3	Système A4
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan azimutal	degrés	3,3	2,5	5,75	2,5
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	236 (118 balayages/min)	36 ou 72 (6 ou 12 tours/min)	Jusqu'à 106 (jusqu'à 53 balayages/min)	90
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)	360° (mécanique)	Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)	Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	118 (59 balayages/min)	Sans objet	148,42 (jusqu'à 137 balayages/min)	90
Type de balayage vertical de l'antenne		Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)	Sans objet	Sectoriel: $+25/-40^\circ$ (mécanique)	Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	7,5 à 15°	Non spécifié	5,3 à 10°	Non spécifié
Hauteur d'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	3,1; 0,11	5	5,0, 1,8 et 0,8	0,48
Facteur de bruit du récepteur	dB	Non spécifié	Non spécifié	6	3,6
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-103	-107; -101	-101	
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	3,1; 0,11 22,2; 0,79	0,480; 2,7 1,5; 6,6	(En fonction de la fréquence et de la largeur d'impulsion) 100 à 118 102 à 120	Non spécifiée Non spécifiée

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A5	Système A6a ⁽¹⁾	Système A6b ⁽¹⁾
Fonction		Evitement des perturbations atmosphériques avec détection des cisaillements du vent (navigation)	Evitement des perturbations atmosphériques (WA, <i>weather avoidance</i>), avec détection des cisaillements du vent (WS, <i>wind-shear detection</i>) (navigation)	Cartographie des sols dont: cartographie mono-impulsion (MGM, <i>monopulse ground mapping</i>) et affûtage de faisceau par Doppler (DBS, <i>doppler beam sharpening</i>)
Gamme d'accord	MHz	9 330	9 305-9 410 WA: agilité en fréquence d'impulsion à impulsion ($\leq 2\ 000$ bonds/s); WS: monofréquence adaptatif	9 360 et 9 305-9 410 MGM: agilité en fréquence d'impulsion à impulsion (≤ 600 bonds/s); DBS: monofréquence (9 360)
Modulation		Impulsion	WA: impulsions non modulées à codage de Barker (5:1 et 13:1); WS: impulsions non modulées	MGM et DBS: impulsions à codage de Barker (13:1)
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	W	150	≤ 150	≤ 150
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μs pps	1 à 20 180 à 9 000	WA: 0,2-230; WS: 2 WA: 2 000 impulsions/s pour des impulsions de 0,2-6 μs , retombant à 230 impulsions/s pour des impulsions de 230 μs ; WS: 3 600-3 940 impulsions/s	MGM: 1,3-260; DBS: 0,64-20 MGM: 600 impulsions/s pour des impulsions de 1,3-60 μs , retombant à 220 impulsions/s pour des impulsions de 260 μs ; DBS: 700-1 600 impulsions/s pour toutes les largeurs d'impulsion
Coefficient d'utilisation maximal		Non spécifié	WA: 0,054; WS: 0,0076	MGM: 0,057; DBS: 0,033 (0,024 à long terme)
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μs	Non spécifié	WA: 0,02-0,05/0,01; WS: 0,02/0,01	MGM: 0,01-0,02/0,01-0,02; DBS: 0,02-0,04/0,01
Système de sortie		Semi-conducteurs	Transistor à effet de champ	Transistor à effet de champ
Type de diagramme de rayonnement d'antenne		Crayon	Crayon	Eventail

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A5	Système A6a ⁽¹⁾	Système A6b ⁽¹⁾
Type d'antenne		Réseau plan	Réseau plan	Réseau plan
Polarisation de l'antenne		Non spécifiée	Rectiligne	Rectiligne
Gain du faisceau principal de l'antenne	dBi	34,4	32	28,7
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	3,5	4	42
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	3,5	2,7	2,7
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	Non spécifiée	≤ 200 (≤ 40 balayages/min)	≤ 200 (≤ 40 balayages/min)
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Sectoriel: ±30°	Sectoriel: ±15 à ±135° (mécanique)	Sectoriel: ±15 à ±135° (mécanique)
Fréquence de balayage vertical de l'antenne		Non spécifiée	≤ 20 balayages/min	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Non spécifié	1 ou 2 barres horizontales (mécanique)	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	+3,4	8 à 4,2°	3,7 à 4,5°
Hauteur d'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur (cisaillement à basse altitude)	Altitude de l'aéronef porteur
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Non spécifiée	WA: ≤ 16 pour impulsions/ sous-impulsions étroites, retombant à 0,8 pour impulsions/ sous-impulsions larges; WS: ≥ 0,8	

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A5	Système A6a ⁽¹⁾	Système A6b ⁽¹⁾
Facteur de bruit du récepteur	dB	4,0	5	5
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-125	≥ -110	≥ -110
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission RF	MHz	Non spécifiée	De l'impulsion complète la plus courte à la sous-impulsion la plus longue: WA: 3 dB: 5 à 0,052; 20 dB: 40,5 à 0,37; WS: 3 dB: 0,46 20 dB: 3,28	De la sous-impulsion la plus courte à la sous-impulsion la plus longue: MGM: 3 dB: 7,68 à 0,045; 20 dB: 59 à 0,31 DBS: 3 dB: 18 à 0,6; 20 dB: 150 à 4,1

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Systèmes A7a, A7b, et A7c ⁽²⁾	Système A7d ⁽²⁾	Systèmes A7e et A7f ⁽²⁾	Système A8
Fonction		Recherche en surface et imagerie SAR	Navigation	Imagerie SAR inverse	Recherche (radiolocalisation) Météorologie
Gamme d'accord	MHz	9 380-10 120	Agilité en fréquence d'impulsion à impulsion sur 340 MHz	9 380-10 120	9 250-9 440, agilité en fréquence d'impulsion à impulsion, pas de 20 MHz
Modulation		Impulsion MF linéaire	Impulsion MF linéaire	Impulsion MF linéaire	Impulsion MF
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	50	50	50	10
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	Recherche: 5 µs à 1 600-2 000 impulsions/s ou 10 µs à environ 380 impulsions/s SAR: 13,5 µs à 250-750 impulsions/s	10 environ 380 impulsions/s	10 470, 530, 800 et 1 000 impulsions/s	5 et 17 2 500, 1 500, 750 et 400 impulsions/s (toutes largeurs d'impulsion)
Coefficient d'utilisation maximal		0,010 (5 µs et 13,5 µs); 0,004 (10 µs)	0,004	0,010	0,04
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1
Système de sortie		Tube à ondes progressives	Tube à ondes progressives	Tube à ondes progressives	Tube à ondes progressives
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Crayon/éventail	Crayon/éventail	Crayon/éventail	Éventail
Type d'antenne		Réflecteur parabolique	Réflecteur parabolique	Réflecteur parabolique	Réseau à fentes
Polarisation de l'antenne		Horizontale	Horizontale	Horizontale	Verticale et horizontale
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	34,5	34,5	34,5	32
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	4,0	4,0	4,0	9,0
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	2,4	2,4	2,4	1,8
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	36, 360 et 1 800	36, 360, 1 800	36, 360 et 1 800	90 ou 360 (15 ou 60 tours par minute)

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Systèmes A7a, A7b, et A7c ⁽²⁾	Système A7d ⁽²⁾	Systèmes A7e et A7f ⁽²⁾	Système A8	
Type du balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Secteur de 10°	Secteur de 10°	Secteur de 10°	360°	
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Inclinaison réglable 0°/-90°	Inclinaison réglable 0°/-90°	Inclinaison réglable 0°/-90°	Inclinaison réglable +15°/-15°	
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dB _i	14,5 à 12°	14,5 à 12°	14,5 à 12°	20	
Hauteur d'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée	16	
Facteur de bruit du récepteur	dB	5	5	5	Non spécifié	
Niveau minimal du signal discernable	dBm	Dépend du gain de traitement (34 dB (5 µs), 30 dB (10 µs) et 39,5 dB (13,5 µs) pour une impulsion de retour)	Dépend du gain de traitement (17 dB pour une impulsion de retour)	Dépend du gain de traitement (30 dB (100 MHz) ou 33 dB (200 MHz) pour une impulsion de retour)	-98	
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Recherche: 500 (5 µs) ou 100 (10 µs) SAR: 660	5	100 ou 200	10	
Largeur de bande d'émission RF - 3 dB - 20 dB	MHz	Recherche (5 µs) 470 540 110	Recherche (10 µs) 95 640 730	4,5 7,3	Impulsion comprimée de 100 MHz 95 110	Impulsion comprimée de 200 MHz 190 220
					9,3 12	

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A9	Système A10	Système A11	Système A12
Fonction		Evitement des perturbations atmosphériques, recherche et sauvetage, cartographie des sols	Evitement des perturbations atmosphériques, cartographie des sols, recherche	Evitement des perturbations atmosphériques, cartographie des sols, recherche et sauvetage	Multifonction, surveillance, balayage, poursuite
Gamme d'accord	MHz	Radar: 9 375 \pm 10; Radiobalise: 9 310	Impulsion de préchauffage: 9 337 et 9 339 (avant chaque impulsion utile) Impulsion utile: 9 344	9 375 \pm 30	8 500-10 450
Modulation		Impulsion	Impulsion	Impulsion	Impulsion adaptative, MF, impulsion MF linéaire (compression d'impulsions)
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	25	0,026 (14 dBW)	2,5 à 6,0	0,03-10
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	4,5, 2,4, 0,8, et 0,2 μ s à 180, 350, 350 et 1 000 pps	9 337 et 9 339 MHz: 1-29 μ s à 2 200-220 pps (dispersée) pour toutes les largeurs d'impulsion; 9 344 MHz: 1,7-2,4, 2,4-4,8, 4,8-9,6, 17, 19, et 29 μ s à 2 200-220 pps (dispersée)	fixe, 4 106,5	0,15-300 adaptative 1 000-50 000 adaptative
Coefficient d'utilisation maximal		0,00082	9 337 et 9 339 MHz: \leq 0,064 9 344 MHz: \leq 0,011 (avec impulsions de 17 μ s)	0,00043	0,01-0,8 (impulsion), 1 (MF)
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	Non spécifié	9 337 et 9 339 MHz: 0,3/0,2 9 344 MHz: 0,5/0,5	Temps de montée: 0,3 Temps de descente: 0,4	Non spécifié
Système de sortie		Magnétron à fiabilité élevée	Diode IMPATT	Magnétron	Semi-conducteur
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Crayon et éventail	Crayon	Crayon	Formation de faisceau numérique
Type d'antenne		Réseau plan	Réseau plan	Réseau plan	Réseau actif

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A9	Système A10	Système A11	Système A12
Polarisation de l'antenne		Horizontale et verticale	Horizontale	Horizontale	Rectiligne/circulaire
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	Crayon: 30; éventail: 29	29	26,7	35-42
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	Crayon: 3; éventail: 6	< 10	8,1	1,6 à 42 dBi
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	Crayon: 3; éventail: 3	7	8,1	1,6 à 42 dBi
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	72 (longue portée), 270 (courte portée) (360°: 12 tours/min (longue portée), 45 tours/min (courte portée)) Sectoriel: non spécifiée	30	25	Sans objet
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Continu (360°) Sectoriel (90°)	Sectoriel 60° ou 120°	Secteur tridimensionnel: (90° ou 120°)	±60° balayage électronique ±120° avec fonction additionnelle de repositionnement mécanique
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Sans objet	Inclinaison choisie par l'opérateur: ±30°	Secteur tridimensionnel: ±30°	±60° balayage électronique ±120° avec fonction additionnelle de repositionnement mécanique
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	Non spécifié	+13,9	+4,7	Dépend de la formation de faisceau
Hauteur de l'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Non spécifiée	2,0	1,0	Non spécifiée

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A9	Système A10	Système A11	Système A12
Facteur de bruit du récepteur	dB	6,5	2	5	6
Niveau minimal du signal discernable	dBm	Non spécifié	-128 (sensibilité de détection après traitement)	-110	-130
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet	1,5 GHz au maximum pour la modulation à compression d'impulsions
Largeur de bande d'émission RF	MHz				
- 3 dB		Non spécifiée	-3 dB: 9 337 et 9 339 MHz: 0,7 9 344 MHz: 0,4, 0,25, 0,150, 0,075, 0,08 et 0,05	-3 dB: 0,5	Dépend du mode de fonctionnement
- 20 dB		Non spécifiée	-20 dB: 9 337 et 9 339 MHz: 3,6 9 344 MHz: 1,8, 1,5, 0,8, 0,375, 0,35 et 0,2	-20 dB: 1,5	Dépend du mode de fonctionnement

(1) Radar multimode; également doté d'un mode d'interrogation de balise à 9 375 MHz, système non décrit ici.

(2) Radar multimode.

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système A13
Fonction		Radar de détection et d'évitement d'aéronef sans pilote
Gamme d'accord	MHz	8 750-8 850 ou 9 300-9 500 (choisie de façon à être compatible avec les autres équipements d'avionique embarqués)
Modulation		Par impulsions avec code de phase binaire; largeur de bande à 3 dB = 5 MHz
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	0,640 (puissance rayonnée nette)
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	0,2 à 30 500 à 60 000 (en fonction du mode)
Coefficient d'utilisation maximal		0,16
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	0,1/0,1
Système de sortie		Amplificateurs de puissance à semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Section transversale elliptique du faisceau
Type d'antenne		Réseau actif à balayage électronique (AESA)
Polarisation de l'antenne		Verticale rectiligne
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	28
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	13,5 latéralement
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	2,7 latéralement

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques	Unité	Système A13
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	Trames: 8 trames/min avec mises à jour de poursuite entrelacées en fonction des besoins
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	Sectoriel: ± 110 , balayage électronique (2 antennes sont utilisées)
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Trames: 8 trames/min avec mises à jour de poursuite entrelacées en fonction des besoins
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	Sectoriel: ± 15 (recherche), ± 45 (poursuite); balayage électronique; le champ de vision est stabilisé électroniquement par rapport à un plan horizontal local
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	<17, premier lobe latéral; <13, lobes latéraux éloignés; (s'applique aux niveaux des lobes latéraux en émission avec pondération uniforme; les niveaux des lobes latéraux en réception sont moins élevés)
Hauteur de l'antenne		Egale à l'altitude de l'aéronef porteur
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	5-10 (en fonction du mode)
Facteur de bruit du récepteur	dB	4,4 (facteur de bruit du système)
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-129 pour un rapport signal/bruit de 10 dB (puissance équivalente du signal à la sortie d'une antenne de réception passive sans perte, sans le gain d'antenne mais avec le gain de traitement numérique du signal)
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	10 en cas d'utilisation de la compression d'impulsions (pour les modes de croissance possibles); 5 pour un code biphase
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	5-10 (en fonction du mode) 25

TABLEAU 2

Caractéristiques des radars de radiorepérage à bord de navires fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz

Caractéristiques	Unité	Système S1	Système S2	Système S3	Système S4		Système S5
Fonction		Radar de recherche et de navigation	Radar de poursuite	Radar de recherche à basse altitude et en surface (multifonctions)	Radar de radionavigation maritime ⁽³⁾		Radar de surveillance en surface et de navigation
Type de plate-forme		Navire, centres de formation côtiers	Navire	Navire	Navire		Navire
Gamme d'accord	MHz	8 500-9 600	10 000-10 500	8 500-10 000	9 225-9 500		9 300-9 500
Modulation		Impulsion	Ondes entretenues, ondes entretenues MF	Impulsion agile en fréquence ⁽⁴⁾	Impulsion		Ondes entretenues MF
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	35	13,3	10	5 (min)	50 (max)	1 10 ⁻⁶ à 10 ⁻³
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	0,1; 0,5 1 500; 750	Sans objet Sans objet	0,56 à 1,0; 0,24 19 000 à 35 000; 4 000 à 35 000	0,03 (min) à 4 000 (max)	1,2 (max) à 375 (min)	Sans objet 1 000 ⁽⁵⁾
Coefficient d'utilisation maximal		0,00038	1	0,020	0,00045		1
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	0,08/0,08	Sans objet	0,028/0,03; 0,038/0,024	Non spécifié		Sans objet
Système de sortie		Magnétron	Tube à ondes progressives (TOP)	TOP	Magnétron		Semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Éventail	Crayon	Crayon	Eventail		Éventail
Type d'antenne		Réseau cornet	Réseau plan	Réseau à fentes	Réseau à fentes		Guide d'ondes à fentes
Polarisation de l'antenne		Rectiligne	Rectiligne	Rectiligne	Non spécifiée		Rectiligne

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S1	Système S2	Système S3	Système S4		Système S5
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	29	43	39	27 (min)	32 (max)	30
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	13	1	1	20,0 (min)	26,0 (max)	20
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	3	1	1,5	0,75 (min)	2,3 (max)	1,4
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	57	90	180	120 (min)	360 (max)	144
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	360 (mécanique)	360 (mécanique)	360 ou sectoriel recherche/poursuite (mécanique)	360		360
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	90	Sans objet	Sans objet		Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet	Secteur: +83 /-30° (mécanique)	Sans objet	Sans objet		Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	Non spécifié	23 (premier lobe latéral)	23 (premier lobe latéral)	4 à ≤ 10° (min) 3 à ≥ 10° (max)	9 à ≤ 10° (max) 2 à ≥ 10° (max)	5 (premier lobe latéral)
Hauteur d'antenne		Montage mât/pont	Montage mât/pont	Montage mât/pont	Montage mât/pont		Montage mât/pont
FI du récepteur		Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée	45 (min)	60 (max)	

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S1	Système S2	Système S3	Système S4		Système S5
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	12	0,5	2,5; 4; 12	6; 2,5 (min) (respectivement, impulsion brève et impulsion longue)	28; 6 (max) (respectivement, impulsion brève et impulsion longue)	0,5
Facteur de bruit du récepteur	dB	Non spécifié	3,5	9	3,5 (min)	8,5 (max)	3,5
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-96	-113	-102; -100; -95	-106 (min)	-91 (max)	-113
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Non spécifiée	Sans objet	Sans objet		1,7 à 54
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	10; 5 80; 16	Non spécifiée Non spécifiée	1,6; 4,2 10; 24	Non spécifiée Non spécifiée		Non spécifiée Non spécifiée

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9	
Fonction		Radar de radionavigation maritime	Navigation et recherche	Radar de radionavigation maritime ⁽⁶⁾	Radar de radionavigation maritime ⁽⁷⁾	
Type de plate-forme		Navire	Navire	Navire	Navire	
Gamme d'accord	MHz	9 380-9 440	9 300-9 500	9 225-9 500	9 225-9 500	9 445 ±30
Modulation		Impulsion	Impulsion	Impulsion	Impulsion	
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	25	1,5	5	1,5 à 10	
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	0,08; 0,2; 0,4; 0,7 et 1,2 2 200 (0,08 µs); 1 800, 1 000 et 600 (1,2 µs)	0,08; 0,25 et 0,5 2 250, 1 500 et 750	0,05; 0,18 et 0,5 3 000 pps à 0,05 µs à 1 000 pps à 0,5 µs	0,08 (min) à 3 600 pps	1,2 (max) à 375 pps
Coefficient d'utilisation maximal		0,00072	0,000375	0,0005	0,00045	
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	0,010/0,010	0,01/0,05	Non spécifié	Non spécifié	
Système de sortie		Magnétron	Magnétron	Magnétron	Magnétron	
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Eventail	Eventail	Eventail	Eventail	
Type d'antenne		Réseau à fentes alimenté en extrémité	Guide d'ondes à fentes, alimentation centrale	Réseau à fentes	Réseau à fentes ou réseau patch ou cornet	
Polarisation de l'antenne		Horizontale	Horizontale	Horizontale	Horizontale	
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	31	23,9	30	22-30	
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	20	25	26	24-28	

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	0,95	6	0,95	1,9-7
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	144	144	180	144
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	360	360	360	360
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	Non spécifié	+2,9	< 5 jusqu'à 10°; ≤ 2 au-delà de 10°	22 pour le faisceau principal: 3 à 4 jusqu'à 10°; 0 à 3 au-delà de 10° 30 pour le faisceau principal: 7 à 10 jusqu'à 10°; -2 à +7 dBi au-delà de 10°
Hauteur d'antenne		Mât	Mât	Mât	Mât
FI du récepteur	MHz	Non spécifiée	Non spécifiée	50	45-60
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	15	10 et 3	15-25	2,5-25
Facteur de bruit du récepteur	dB	6	6	6	4 à 8
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-97 (bruit de fond)	-102 (bruit de fond)	Non spécifié	Non spécifié

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission RF	MHz			Non spécifiée	Non spécifiée
– 3 dB		14	20		
– 20 dB		43	55		

(3) Catégorie OMI – y compris opérations de pêche.

(4) Impulsion sans compression, agilité en fréquence pseudo-aléatoire.

(5) Taux de balayage des fréquences (balayages/s).

(6) Navigation sur fleuves et rivières.

(7) Catégorie embarcation de plaisance.

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S10	Système S11	Système S12
Fonction		Surveillance	Navigation maritime	Surveillance
Type de plate-forme		Navire	Navire	Navire et côtière
Gamme d'accord	MHz	9 225-9 500	9 325-9 460	9 000-9 200 ou 9 225-9 500
Modulation		Compression d'impulsions	Par impulsions	V7N Radar à compression d'impulsions entièrement cohérent utilisant un schéma complexe d'impulsions comprimées à 6 fréquences centrales au maximum avec trois durées d'impulsion comprimée différentes
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	0,2	25	0,05-0,1
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	0,08-100 1 000-10 000	0,06/0,25/0,5/1 3 000/2 000/1 000/750	0,150 à 40 1 000-5 000
Coefficient d'utilisation maximal		0,2	$7,5 \times 10^{-4}$	0,2
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	0,02	0,015/0,086	Environ 0,02
Système de sortie		Semi-conducteurs	Magnétron (non cohérent)	Semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Eventail	Faisceau en éventail	Faisceau en éventail
Type d'antenne		Guide d'ondes à fentes	Réseau de guides d'ondes à fentes	Guide d'ondes à fentes
Polarisation de l'antenne		Circulaire/horizontale	Horizontale	Horizontale
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	37	31	≥ 34
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	11	25	$\leq 16^\circ$ à -3 dB / $\leq 55^\circ$ à -20 dB (en général)
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	0,4	0,95	$\leq 0,6^\circ$ à -3 dB

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S10	Système S11	Système S12
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	60-288	144 ou 240	10-48 tours/min
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	Continu ou sectoriel	Continu	Continu ou sectoriel
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet	Sans objet	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dB _i	28	< -32/lobes latéraux éloignés < -40	1,5°-5° < 6 5°-10° < 4 > 10° < -1
Hauteur d'antenne	m	En principe 30-100	En général 10-50 m en fonction de l'installation sur le navire	En fonction de l'installation
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	180	22 ou 5	180 (analogique) La largeur de bande de résolution est de 12,5 ou 25 ⁽⁸⁾
Facteur de bruit du récepteur	dB	2,5	2,5	2,5
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-130	-130	Equivalent à -130 après compression d'impulsions
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	En principe 6 × 35 MHz	Sans objet	6 × 35 = 210 (largeur de bande à -3 dB) ⁽⁹⁾

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S10	Système S11	Système S12
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	240 275	9 à (–3 dB) 66 à (–20 dB) Pour l'impulsion la plus courte	Dépend de la configuration des profils. En principe, la bande complète est utilisée, de sorte que la largeur de bande à –20 dB reste comprise dans la bande de fréquences 9 225-9 500 MHz et la largeur de bande à –3 dB est la largeur de bande combinée de toutes les fréquences centrales utilisées. La largeur de bande à –3 dB par défaut d'une impulsion comprimée donnée est de 35 ⁽¹⁰⁾
Plage dynamique	dB			
Nombre minimal d'impulsions traitées				

⁽⁸⁾ Pour une largeur de bande analogique de 180 MHz, il s'agit de la largeur de bande instantanée qui peut être traitée lors de la conversion analogique/numérique. Cette «fenêtre» peut être déplacée en fréquence en fonction des besoins.

⁽⁹⁾ En termes de largeur de bande couverte, la «largeur totale de l'impulsion comprimée» correspond alors à la largeur de bande combinée de toutes les impulsions comprimées utilisées et vaut au maximum $6 \times 35 \text{ MHz} = 210 \text{ MHz}$ (largeur de bande à –3 dB).

⁽¹⁰⁾ On peut utiliser jusqu'à 6 fréquences centrales différentes. La largeur de bande normale d'une impulsion comprimée donnée (–3 dB) est de 30-35 MHz. La largeur de bande RF totale utilisée pourrait être supérieure à 180 MHz, et correspond en principe à la bande de fréquences utilisée (par exemple 9,0-9,2 GHz ou 9,225-9,500 GHz).

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système S13
Fonction		Navigation maritime
Type de plate-forme		Navire et côtière
Gamme d'accord	MHz	9 200-9 500
Modulation		Impulsions à ondes entretenues pour la courte portée Impulsions comprimées avec modulation de fréquence non linéaire pour la longue portée (la largeur de bande de l'impulsion comprimée est de 20 MHz)
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	0,17 valeur nominale 0,20 valeur de crête
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	Impulsions d'une largeur de 0,1, 5 et 33 μ s avec des intervalles de répétition des impulsions de 12, 64 et 365 μ s et une fréquence équivalente de répétition des impulsions de 2267
Coefficient d'utilisation maximal		13%
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	Environ 0,02
Système de sortie		Semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Eventail
Type d'antenne		Réseau à fentes
Polarisation de l'antenne		Horizontale
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	32,7 ou 34,5
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	25
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	<0,7 ou <0,45
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	12 ou 24 tours/min
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	degrés	Continu

TABLEAU 2 (*fin*)

Caractéristiques	Unité	Système S13
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	26
Hauteur d'antenne	m	Dépend de la taille du navire
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	15, 0,1875 et 0,0375
Facteur de bruit du récepteur	dB	5,5
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-125
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	20
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	-3 dB: 15 (courte portée) -3 dB: 20 (longue portée) -20 dB: 18 (courte portée) -20 dB: 22 (longue portée)
Plage dynamique	dB	125
Nombre minimal d'impulsions traitées		32 impulsions intégrées (12 tours/min) 16 impulsions intégrées (24 tours/min)

TABLEAU 3

**Caractéristiques des radiobalises et des radars de radiorepérage au sol fonctionnant
dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz***

Caractéristiques	Unité	Système G1	Système G2	Système G3	Système G4	Système G5
Fonction		Transpondeur/ radiobalise de rendez-vous	Transpondeur/ radiobalise de rendez- vous	Radar de poursuite	Radar de poursuite	Radar d'approche et d'atterrissage de précision
Type de plate-forme		Aéronef	Au sol (portable à dos d'homme)	Au sol (remorque)	Au sol (remorque)	Au sol (remorque)
Gamme d'accord	MHz	8 800-9 500	9 375 et 9 535 (réception); 9 310 (émission)	9 370-9 990	10 000-10 500	9 000-9 200
Modulation		Impulsion simple ou double	Impulsion	Impulsion agile en fréquence	Onde entretenue, onde entretenu MF	Impulsion agile en fréquence
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	0,300	0,020 à 0,040	31	14	120
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	0,3 10 à 2 600	0,3 à 0,4 Moins de 20 000	1 7 690 à 14 700	Sans objet Sans objet	0,25 6 000
Coefficient d'utilisation maximal		0,00078	0,008	0,015	1	0,0015
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	0,1/0,2	0,10/0,15	0,05/0,05	Sans objet	0,02/0,04
Système de sortie		Magnétron	Semi-conducteurs	TOP	TOP	TOP
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Equidirective	Quadrant	Crayon	Crayon	Crayon/éventail
Type d'antenne		Guide d'onde ouvert	Réseau à circuit imprimé	Réseau à commande de phase (guide d'ondes à fentes linéaires)	Réseau plan	Réseau plan de doublets

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G1	Système G2	Système G3	Système G4	Système G5
Polarisation de l'antenne		Rectiligne	Circulaire	Rectiligne	Rectiligne	Circulaire
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	8	13	42,2	42,2	40
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	18	20; 3	0,81	1	0,7
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	360	65; 10	1,74	1	1,1
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	90	5 à 30
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Sans objet	Sans objet	Sectoriel: $\pm 45^\circ$ (balayage en phase)	360° (mécanique)	Sectoriel: $+23/+15^\circ$ (balayage en phase)
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	90	5 à 30
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet	Sans objet	Sectoriel: $90^\circ \pm$ inclinaison du réseau (balayage en fréquence)	Sectoriel: $90^\circ \pm$ inclinaison du réseau (mécanique)	Sectoriel: $+7/-1^\circ$ (balayage en fréquence)
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	Non spécifié	0 dBi (premiers lobes latéraux)	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Hauteur d'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Niveau du sol	Niveau du sol	Niveau du sol	Niveau du sol
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	24	40	1	0,52	2,5

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G1	Système G2	Système G3	Système G4	Système G5
Facteur de bruit du récepteur	dB	Non spécifié	13	Non spécifié	3,4	Non spécifié
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-99	-65	-107	-113	-98
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	Sans objet
Largeur de bande d'émission RF	MHz					
- 3 dB		2,4	4,7	0,85	Non spécifiée	3,6
- 20 dB		13,3	11,2	5,50	Non spécifiée	25,0

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G6	Système G7	Système G8
Fonction		Surveillance d'aéroport/contrôle de l'approche du sol	Radar d'approche de précision	Equipement de détection à la surface des aéroports (ASDE)
Type de plate-forme		Au sol (mobile)	Au sol (fixe ou transportable)	Au sol
Gamme d'accord	MHz	9 025	9 000-9 200 (4 fréquences/système)	9 000-9 200; agilité d'impulsion à impulsion sur 4 fréquences
Modulation		Impulsions normale et MF non linéaire	Paires d'impulsions normale et MF non linéaire	Paires d'impulsions normale et MF non linéaire
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	W	310,5	500	70
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μs pps	1,2; 30 et 96 12 800, 3 200-6 300 et 2 120	Paires d'impulsions 0,65 et 25 3 470, 3 500, 5 200 et 5 300	0,04 et 4,0 (compression à 0,040) 4 096 pour chacune, 8 192 au total
Coefficient d'utilisation maximal		0,203	0,11	0,017
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μs	Non spécifié	0,15/0,15 et 0,15/0,15	Impulsion brève: 0,016/0,018; Impulsion longue: 0,082/0,06
Système de sortie		Semi-conducteurs	Transistors	Semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Eventail (csc ²)	Eventail vertical et éventail horizontal	csc ² inverse
Type d'antenne		Réseau actif + réflecteur	Deux réseaux à commande de phase	Réseau passif
Polarisation de l'antenne		Verticale	Circulaire dextrogyre	Circulaire de dextrogyre
Gain de l'antenne, faisceau principal	dBi	37,5 en émission, 37 en réception	Eventail vertical: 36 Eventail horizontal: 36	35
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	3,5 + csc ² à 20	Eventail vertical: 9,0 Eventail horizontal: 0,63	19
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	1,05	Eventail vertical: 1,04 Eventail horizontal: 15	0,35
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	12	Eventail vertical: 60, moitié du temps (60 balayages/min)	360

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G6	Système G7	Système G8
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		360°	Secteur de 30°	Continu
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Eventail horizontal: 20, moitié du temps (60 balayages/min)	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sans objet	Secteur de 10°	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	7,5 en moyenne à l'émission, 2,9 en moyenne à la réception	Eventail vertical: 17 Eventail horizontal: 18,5	En azimut: $\leq +10$ En élévation: $\leq +20$
Hauteur d'antenne	m	Niveau du sol	Niveau du sol	30 à 100 m au-dessus du niveau du sol
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Non spécifiée Valeur estimative: 0,8	40	36
Facteur de bruit du récepteur	dB	5 à 6,5	7,5	5,56
Niveau minimal du signal discernable	dBm	Non spécifié	-90 (S/N = 13,5 dB)	-96,2
Plage dynamique	dB	65 à partir du seuil de bruit, compression 1 dB	Non spécifiée	Non spécifiée
Nombre minimal d'impulsions traitées par CPI		7	6	Intégration non cohérente sur 4 impulsions
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Non spécifiée Valeur estimative: 0,8	2	Impulsion brève: néant; Impulsion longue: 50
Largeur de bande d'émission RF - 3 dB - 20 dB	MHz	Non spécifiée Valeur estimative: 0,8 Inconnue	1,1 (impulsion normale), 1,8 (MF non linéaire) 5,8 (impulsion normale), 3,15 (MF non linéaire)	43,2 70,3
Caractéristiques de rejet des brouillages		Non spécifiées	Non spécifiées	CFAR local; Carte des échos parasites Filtre spatial à 2 dimensions

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G9
Fonction		Radar de poursuite
Type de plate-forme		Au sol
Gamme d'accord	MHz	8 700-9 500
Modulation		Impulsion à modulation de fréquence linéaire
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	150
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	1-15 500-15 000
Coefficient d'utilisation maximal		Non spécifié
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	0,05
Système de sortie		TOP
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Crayon
Type d'antenne		Réseau plan
Polarisation de l'antenne		Rectiligne
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	38
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	5
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	5

TABLEAU 3 (*fin*)

Caractéristiques	Unité	Système G9
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	300
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Continu
Balayage vertical de l'antenne	degrés	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Aléatoire
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dB _i	Non spécifié
Hauteur d'antenne	m	Niveau du sol
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	3
Bruit de fond du récepteur	dB _m	-105
Affaiblissement de réception	dB	Non spécifié
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	3
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	3 MHz

* Des systèmes radar présentant des caractéristiques analogues à celles exposées dans le Tableau 2 dans le cas des systèmes de radionavigation maritime peuvent également être utilisés, dans les aéroports, comme radars aéronautiques au sol.

TABLEAU 4

Caractéristiques d'autres radars fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz

Caractéristiques	Unité	Système G10	Système G11	Système G12
Fonction		Détection d'intrusion	Détection d'intrusion	Mesure de la vitesse
Type de plate-forme		Au sol	Au sol	Au sol
Gamme d'accord	GHz	10,525	10,15-10,65	10,519-10,531
Modulation		Ondes entretenues	Ondes entretenues	Ondes entretenues
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	W	10	10	0,5
Puissance moyenne à l'entrée de l'antenne	W	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	μ s pps	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Coefficient d'utilisation maximal		1	1	1
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	μ s	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Parabolique	Parabolique	Faisceau-crayon
Type d'antenne		Parabolique	Parabolique	Réseau plan
Polarisation de l'antenne		Verticale	Verticale	Verticale
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	38	42	21
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	1,9	2	20
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	1,9	1,2	10
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne		Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Balayage vertical de l'antenne		Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Type de balayage vertical de l'antenne		Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié

TABLEAU 4 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G10	Système G11	Système G12
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	28	22 à 3 degrés	9 à 14 degrés
Hauteur d'antenne		Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Sensibilité	dBm	-100	-152	-136
Facteur de bruit du récepteur	dB	13	3,6	7
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission RF - 40 dB	MHz	3,2	3,2	3,2

TABLEAU 4 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G13	Système G14	Système G15	Système G16
Fonction		Poursuite	Poursuite	Poursuite	Poursuite
Type de plate-forme		Aéronef	Navire	Au sol (remorque)	Au sol et navire
Gamme d'accord	GHz	10,5-10,6	10,5-10,6	10,5-10,6	10,5-10,68
Modulation		Ondes entretenues, ondes entretenues MF	Ondes entretenues, ondes entretenues MF	Ondes entretenues, ondes entretenues MF	MF linéaire
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	kW	1,5	13,3	14	70
Puissance moyenne à l'entrée de l'antenne	W	–	–	–	20 000
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	Sans objet sans objet	Sans objet sans objet	Sans objet sans objet	2-15 5-140 K
Coefficient d'utilisation maximal		1	1	1	0,28
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	Sans objet	Sans objet	Sans objet	0,005
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Crayon	Crayon	Crayon	Crayon
Type d'antenne		Réseau plan	Réseau plan	Réseau plan	Réseau plan
Polarisation de l'antenne		Rectiligne	Rectiligne	Rectiligne	Rectiligne
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	35,5	43	42,2	46
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	2,5	1	1	2
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	2,5	1	1	2
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	90	90	90	Sans objet

TABLEAU 4 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G13	Système G14	Système G15	Système G16
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)	360° (mécanique)	360° (mécanique)	Sectoriel: $\pm 90^\circ$ (mécanique)
Balayage vertical de l'antenne	degrés/s	90	90	90	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		Sectoriel: $\pm 60^\circ$ (mécanique)	Sectoriel: $+83/-30^\circ$ (mécanique)	Sectoriel: $90^\circ \pm$ inclinaison du réseau (mécanique)	Sectoriel: $+85/-10^\circ$ (mécanique)
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dBi	Non spécifié	23 (premier lobe latéral)	Non spécifié	Non spécifié
Hauteur d'antenne		Altitude de l'aéronef porteur	Montage mât/pont	Niveau du sol	Montage mât/pont
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	0,48	0,5	0,52	10
Sensibilité	dBm	–	–113	–113	–112
Puissance de bruit	dBm	–	–	–	
Facteur de bruit du récepteur	dB	3,6	3,5	3,4	4,5
Largeur de bande de l'impulsion comprimée	MHz	Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée	10
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	Non spécifiée Non spécifiée	Non spécifiée Non spécifiée	Non spécifiée Non spécifiée	5,5 11

TABLEAU 4 (suite)

Caractéristiques	Unité	Système G17	Système G18	Système G19
Fonction		Multifonction, surveillance, balayage, poursuite	Equipement de détection à la surface des aéroports	Equipement de détection à la surface des aéroports
Type de plate-forme		Au sol (remorque)	Au sol	Au sol
Gamme d'accord	MHz	9 200-9 900	9 000-9 200; agilité d'impulsion à impulsion sur 16 fréquences prédéfinies pour le saut de fréquence	9 000-9 200; agilité d'impulsion à impulsion sur 4 fréquences prédéfinies pour le saut de fréquence
Modulation		Impulsion adaptative, MF	Paires d'impulsions normale et MF linéaire	Deux impulsions en MF linéaire définissent une paire d'impulsions
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	W	30-10 000	170	50
Largeur d'impulsion et fréquence de répétition des impulsions	µs pps	0,15-30 adaptative 1 000-20 000 adaptative	0,040 et 4,0 (compressée à 0,040) 16 384 pour chacune	10,0 et 0,15 à 7 500 (toutes deux compressées à 0,040); moyenne maximale pour le système de 15 000
Coefficient d'utilisation maximal		0,60 (impulsion) 1 (MF)	0,07	0,15
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion	µs	Non spécifiés	Impulsion brève: 0,016/0,023 Impulsion longue: 0,038/0,056	Impulsion brève: 0,020/0,020 Impulsion longue: 0,020/0,020
Système de sortie		Semi-conducteurs	Semi-conducteurs	Semi-conducteurs
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne		Formation de faisceau numérique	csc inverse ²	csc inverse ²
Type d'antenne		Réseau plan actif	Réseau passif	Guide d'ondes à fentes
Polarisation de l'antenne		Rectiligne/circulaire	Circulaire dextrogyre	Circulaire dextrogyre
Gain d'antenne, faisceau principal	dBi	36-42	37,6	37,6
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation	degrés	4 à 36 dBi 2 à 42 dBi	9,91	9,91
Ouverture du faisceau d'antenne en azimut	degrés	2,5 à 36 dBi 1,3 à 42 dBi	0,37	0,37

TABLEAU 4 (*fin*)

Caractéristiques	Unité	Système G17	Système G18	Système G19
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	degrés/s	Sans objet	360	360
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)		$\pm 60^\circ$ balayage électronique N*360° mécanique	Continu	Continu
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	degrés/s	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne		$\pm 40^\circ$ électronique	Sans objet	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux éloignés)	dB	Dépend de la formation de faisceau	9,15	9,15
Hauteur d'antenne		~ 10 m	10 à 100 m au-dessus du sol	10 à 100 m au-dessus du sol
Largeur de bande FI à 3 dB du récepteur	MHz	Non spécifiée	50	180
Facteur de bruit du récepteur	dB	6	5,25	5,0
Niveau minimal du signal discernable	dBm	-122	-102	-115
Plage dynamique (dB)	dB	Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée
Nombre minimal d'impulsions traitées par CPI		Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Largeur totale de l'impulsion comprimée	MHz	Non spécifiée	Impulsion brève: néant Impulsion longue: 50	Impulsion brève: 35 Impulsion longue: 35
Largeur de bande d'émission RF – 3 dB – 20 dB	MHz	Adaptative Adaptative	50 59	35 42

2.1 Emetteurs

Les radars fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz utilisent diverses modulations: impulsions non modulées, ondes entretenues, impulsions modulées en fréquence (compression d'impulsions) et impulsions codées en phase, et certains nouveaux radars à traitement numérique du signal peuvent utiliser une modulation adaptative avec différents types de modulation ainsi qu'une durée d'impulsion et une fréquence de répétition d'impulsion variables. Les étages de sortie des émetteurs peuvent être de type à champs croisés, à faisceau linéaire ou à semi-conducteurs. Dans les nouveaux systèmes radar, la tendance est à l'utilisation de dispositifs de sortie à faisceau linéaire ou à semi-conducteurs, pour des raisons de traitement du signal Doppler. Par ailleurs, les radars dotés de dispositifs de sortie à semi-conducteurs se caractérisent par des puissances de sortie de crête de l'émetteur relativement basses et des coefficients d'utilisation des impulsions relativement élevés. Dans quatre cas (systèmes A4, S2, S5 et G4), le coefficient d'utilisation est de 100%, et tous les radars de radiolocalisation de type à ondes entretenues à forte puissance ne fonctionnent qu'au-dessus de 10 GHz. On a par ailleurs tendance à utiliser des systèmes agiles en fréquence qui permettent de supprimer ou de réduire les brouillages, comme dans certains systèmes de communication. L'agilité en fréquence sert aussi, parfois, à éviter les échos parasites avec distance ambiguë. Sur une seule fréquence porteuse, les transmissions aléatoires (ou pseudo-aléatoires) peuvent se produire dans un intervalle de traitement cohérent ou même dans tout un secteur de déplacement du faisceau de l'antenne, pendant la transmission d'un grand nombre d'impulsions ou pendant une seule impulsion seulement. Ces variations sont comparables au «bond de fréquence lent» et au «bond de fréquence rapide» dans un système de communication. Ces aspects importants des systèmes radar doivent être pris en compte dans les études de compatibilité.

Les largeurs de bande radiofréquence types à l'émission (3 dB) des radars fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz sont généralement comprises entre 45 kHz et 637 MHz. Les puissances de sortie de crête des émetteurs s'échelonnent de 1 mW (0 dBm) dans le cas des émetteurs à semi-conducteurs à 220 kW (83,4 dBm) dans le cas des radars de forte puissance à systèmes de sortie à champs croisés (magnétron).

Les caractéristiques des rayonnements non désirés ne sont pas traitées dans la présente Recommandation.

2.2 Récepteurs

Les systèmes radar de génération récente sont dotés de systèmes de traitement numérique du signal après détection (portée, azimut et traitement Doppler). En général, le traitement du signal fait intervenir des techniques servant à améliorer la détection des cibles recherchées et à produire sur l'affichage des symboles correspondant à ces cibles. Les techniques de traitement du signal utilisées pour l'amélioration et l'identification des cibles permettent par ailleurs de supprimer dans une certaine mesure les impulsions de brouillage à faible coefficient d'utilisation (moins de 5%) asynchrones par rapport au signal utile.

Le traitement du signal, dans les radars de la nouvelle génération, fait intervenir des impulsions compressées et des impulsions codées en phase qui confèrent un gain de traitement au signal utile et peuvent offrir par ailleurs une certaine suppression des signaux non désirés.

Certains des radars à semi-conducteurs de faible puissance les plus récents utilisent un traitement du signal multicanal à coefficient d'utilisation élevé qui permet d'améliorer les retours du signal utile. Certains récepteurs radar peuvent identifier les canaux radiofréquences présentant de faibles niveaux de signaux non désirés et commuter l'émetteur sur ces canaux.

Les radars récents utilisent souvent un étage d'entrée large bande couvrant toute la gamme de fréquences possible. Les filtres FI sont eux aussi conçus avec une largeur de bande relativement grande. Des fonctions comme le saut de fréquence et la modulation adaptative avec largeur de bande variable sont ainsi rendues possibles. Le traitement final, comprenant un filtrage adaptatif, est un traitement du signal en bande de base.

2.3 Antennes

Divers types d'antennes sont utilisés sur les radars fonctionnant dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz. Les antennes utilisables dans cette bande de fréquences présentent généralement des dimensions favorables et sont donc intéressantes pour les applications où la mobilité et le poids sont des conditions importantes, contrairement à la portée. De nombreux types de radar fonctionnant dans cette bande de fréquences sont adaptés à une grande variété de modes, notamment recherche et navigation (observation météorologique). Les antennes de ces radars présentent généralement un balayage de 360° dans le plan horizontal.

Les dernières évolutions techniques concernant les radars (par exemple, céramiques à cuisson simultanée à basse température, diminution de la taille des modules RF, augmentation de la puissance de traitement) permettent de procéder à un traitement du signal en bande de base pour chacun des éléments d'une antenne réseau à commande de phase.

Les différents éléments d'un réseau actif à commande de phase ne sont que légèrement directifs et le faisceau est formé au moyen d'un grand nombre d'éléments avec un décalage de phase variable. Les mécanismes relatifs aux brouillages et à leur élimination ne sont donc pas les mêmes que pour les anciennes antennes (par exemple avec des réflecteurs paraboliques).

Ces radars peuvent effectuer plusieurs tâches (par exemple, poursuite et balayage et suivi de plusieurs cibles) simultanément. Le balayage linéaire ou circulaire par un faisceau-crayon est remplacé par un traitement du signal avec poursuite et balayage adaptatifs.

Emission: Le signal est émis au moyen d'un faisceau à commutation très rapide.

Réception: En fonction du traitement appliqué au signal, la réception peut se faire en principe de deux manières.

- 1) Un faisceau formé numériquement peut être synchronisé avec l'émetteur.
- 2) Il est en outre possible de recevoir et de détecter simultanément plusieurs signaux provenant d'autres émetteurs (par exemple de radars situés dans d'autres avions), au moyen d'une antenne à faisceaux multiples (voir l'explication ci-dessous).

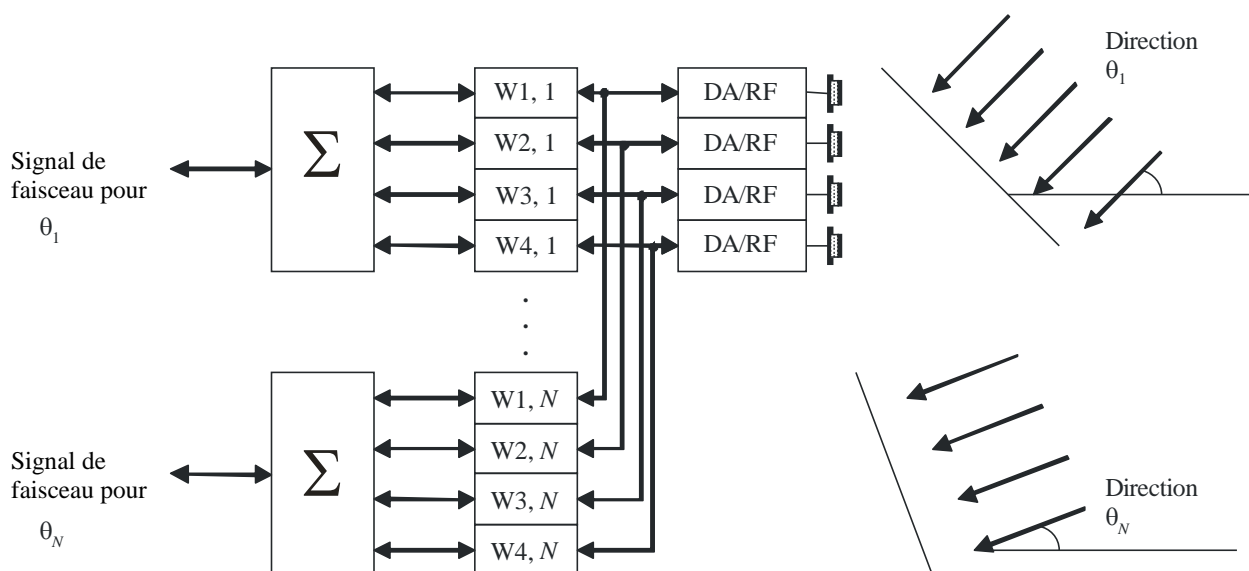
Il s'ensuit que les mécanismes de découplage ne sont pas les mêmes que pour les radars dotés d'antennes classiques.

Antennes à faisceaux multiples (voir la Fig. 1)

Chaque élément d'antenne fournit un signal en bande de base, qui peut être pondéré en phase et en amplitude ($W_{i,n}$) avec les signaux en bande de base pondérés ($W_{j,n}$) des autres éléments, ce qui est représenté par un vecteur directeur pour une direction donnée. Le résultat de cette opération mathématique est le signal reçu dans une direction particulière θ_n . Si on associe différents vecteurs directeurs dans une matrice comprenant un nombre N de vecteurs directeurs différents, l'antenne peut recevoir simultanément dans les directions θ_1 à θ_N . Il est à noter que les processeurs de radar modernes peuvent effectuer plus de 10^{12} opérations en virgule flottante par seconde, ce qui permet de les mettre en oeuvre pour des réseaux relativement grands. Parmi les mises en oeuvre possibles, on peut citer par exemple la formation de faisceau FFT ou le traitement du signal dans l'espace et dans le temps.

FIGURE 1

Antenne à faisceaux multiples



M.1796-01

D'autres radars utilisés dans cette bande de fréquences sont plus spécialisés, et leur balayage est limité à un secteur fixe. La plupart des radars utilisés dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz sont dotés de systèmes de balayage mécanique, mais certains radars plus récents sont dotés d'antennes-réseau à balayage électronique comme décrit. Les polarisations utilisées sont les polarisations horizontale, verticale et circulaire. Pour les radars au sol et les radars installés à bord de navires, les hauteurs d'antenne types sont respectivement de 8 m et 30 m au-dessus de la surface, bien qu'un grand nombre de radars de radionavigation maritime présentent des hauteurs d'antenne inférieures à 30 m.

3 Autres caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radionavigation à bord de navires fonctionnant dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz

Généralement parlant, on peut établir une distinction très nette entre les radars conformes aux spécifications de l'Organisation maritime internationale (OMI) (y compris les spécifications des systèmes embarqués à bord de navires de pêche), les radars utilisés pour la navigation sur les eaux intérieures (fleuves et rivières) et les radars non obligatoires sur les embarcations de plaisance mais installés pour des raisons de sécurité.

Le Tableau 5 indique les puissances d'émission et les nombres de systèmes installés pour chacune de ces trois catégories.

TABLEAU 5

Catégories de radars de radionavigation installés à bord de navires

Catégorie de radar	Puissance de crête (kW)	Nombre total de systèmes utilisés dans le monde
OMI et navires de pêche	≤ 75	> 300 000
Fleuves et rivières	< 10	< 20 000
Plaisance	< 5	> 2 000 000

La quasi-totalité des radars installés à bord de navires utilisés sur les eaux intérieures et d'embarcations de plaisance fonctionnent dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz. La plupart des radars conformes aux spécifications OMI et des radars installés à bord de navires de pêche fonctionnent aussi dans cette bande de fréquences, bien qu'un nombre important de radars OMI utilisent la bande de fréquences 2 900-3 100 MHz.

Les caractéristiques qui ont une incidence sur l'efficacité d'utilisation du spectre, notamment les critères de protection, concernent l'antenne du radar et l'émetteur/récepteur. La plupart des radars utilisés dans le domaine maritime sont dotés d'antennes réseau à fentes, mais certains des radars montés sur les embarcations de plaisance utilisent des réseaux patch ou des cornets.

4 Informations additionnelles concernant les radars de radionavigation maritime

4.1 Caractéristiques de qualité de fonctionnement et brouillages

Les systèmes de radionavigation peuvent ne pas répondre à leurs spécifications de qualité de fonctionnement lorsque des signaux non désirés sont à l'origine de dégradations excessives dues à des brouillages de divers types. Selon les systèmes en présence et les configurations d'exploitation, on peut observer:

- des effets diffus, par exemple désensibilisation ou réduction de la portée, perte de cibles et diminution du taux d'actualisation;
- des effets discrets, par exemple brouillage détecté, augmentation du taux de fausse alarme.

Compte tenu de ces différents types de dégradation, les critères de protection sont associés à des valeurs seuil de paramètres, par exemple dans le cas des systèmes d'évitement des collisions:

- réduction tolérable de la portée de détection et de la désensibilisation;
- taux acceptable de balayage manqué;
- taux maximal acceptable de fausse alarme;
- taux acceptable de perte de cibles réelles;
- taux acceptable d'erreurs d'estimation de la position de la cible.

Les spécifications d'exploitation des radars maritimes dépendent de la configuration d'exploitation, c'est-à-dire de la distance par rapport à la côte des obstacles en mer. Pour simplifier, on peut distinguer trois configurations: navigation océanique, navigation côtière et navigation dans les ports.

L'OMI a adopté une révision des normes de qualité de fonctionnement applicables aux radars maritimes¹. Cette révision de l'OMI, pour la première fois, reconnaît la possibilité de brouillages occasionnés par d'autres services de radiocommunication.

Mais surtout, les autorités maritimes internationales ont déclaré, sans aucune réserve, dans leur récente actualisation de la Convention de l'OMI sur la sécurité de la vie en mer, que les systèmes radars demeurent les systèmes de détection essentiels pour l'évitement des collisions.

Cette déclaration doit être considérée dans le contexte de l'installation obligatoire, à bord de certains navires, de systèmes d'identification automatique, lesquels dépendent de références extérieures (GPS par exemple) pour la vérification de la position relative dans les scénarios d'évitement des collisions.

¹ Résolution OMI MSC.192 (79), Adoption of the revised performance standards for radar equipment, adoptée le 10 décembre 2004 (Adoption des normes de qualité de fonctionnement révisées applicables aux équipements de radar).

Toutefois, même sur un navire équipé d'un tel système, il ne peut jamais être possible de prendre en compte les divers objets maritimes de type icebergs, débris flottants, épaves, etc., qui ne sont pas naturellement équipés de systèmes d'identification automatique. Or, ces objets sont des causes potentielles de collision avec les navires, que les radars doivent pouvoir détecter. En conséquence, le radar restera le principal système d'évitement de collision dans l'avenir prévisible.

Pour ce qui des cibles radar, les normes de l'OMI précisent que le radar doit pouvoir détecter les débris flottants et les obstacles fixes, ainsi que les aides fixes à la navigation. Il faut donc que divers types de cibles spécifiées puissent être détectés sur au moins huit balayages sur dix, avec un taux de fausse alarme de 10^{-4} . La liste des cibles spécifiées comprend les petites unités dotées d'un réflecteur radar conforme aux normes de l'OMI, ainsi que les bouées de navigation et les petites unités sans réflecteur radar avec, dans tous les cas, des distances spécifiées². Les normes imposent également une précision de distance et de relèvement de l'ordre respectivement de 30 m et 1° . Elles imposent des moyens de réduction adéquats des brouillages occasionnés par d'autres radars. Elles imposent aussi la possibilité de résoudre deux cibles sur un même relèvement, situées à 40 m l'une de l'autre, ainsi que deux cibles ponctuelles séparées en relèvement par $2,5^\circ$. Elles spécifient enfin qu'il faut minimiser la possibilité de poursuivre une cible à la place d'une autre («changement de cible») et la présence d'un système d'alarme signalant la perte éventuelle de la cible et, dans tous ces cas, la résolution de la cible et les erreurs de position peuvent être exacerbées par les brouillages.

4.2 Description spéciale du nouveau radar de navigation maritime S13

Le radar S13 comprend un émetteur à semi-conducteurs qui utilise une forme d'onde compressée et est conforme à la conception requise conformément aux exigences minimales de performance OMI énoncées dans la norme 62388 de la CEI (nouvelle norme radar – juillet 2008). Il est capable de fonctionner dans plusieurs modes, chaque mode étant optimisé pour un besoin opérationnel particulier. Les modes de fonctionnement sont les suivants: surveillance des rivières, fleuves et canaux, surveillance des estuaires, surveillance côtière, mode à faible puissance, et guidage des hélicoptères pour les opérations de recherche et de sauvetage. Le radar S13 présente notamment les caractéristiques importantes suivantes:

- émetteur à semi-conducteurs utilisant des transistors et non un magnétron;
- émetteur et récepteur cohérents;
- utilisation de la modulation de fréquence non linéaire et de la compression d'impulsions pour obtenir la résolution en distance;
- détermination de la présence de cibles au moyen d'un traitement numérique du signal employant un traitement Doppler et un taux de fausse alarme constant (CFAR) à seuil variable;
- antenne de 3,7 ou 5,5 m de long avec une ouverture de faisceau dans le plan horizontal inférieure à $0,7^\circ$ (largeur d'antenne = 3,7 m) ou inférieure à $0,45^\circ$ (largeur d'antenne = 5,5 m);
- fonctionnement basse tension;
- discrimination de la fréquence de répétition des impulsions. Le radar utilise trois trames d'émission d'impulsions avec des impulsions courtes qui donnent une précision de distance d'au moins 30 m, et des impulsions moyennes et longues qui assurent une détection satisfaisante avec une fréquence équivalente de répétition des impulsions (PRF) de 2 268 Hz;

² Version révisée des normes de qualité de fonctionnement de l'OMI applicables aux réflecteurs radars (Résolution MSC.164 (78)).

- utilisation par le radar de plusieurs trames pour la cible pour une ouverture de faisceau d'antenne donnée;
- utilisation de techniques de traitement Doppler;
- puissance de crête de 200 watts avec une puissance minimale de 170 watts pour un facteur d'utilisation de 13%;
- spectre RF contrôlé qui est conforme aux normes UIT et choix de 12 fréquences RF d'émission garantissant une certaine diversité en fréquence pour améliorer la détection des cibles;
- forme d'onde radar produite numériquement;
- traitement du signal assurant la protection contre les échos multiples;
- bonne performance en matière de détection et de suppression des échos parasites dus à la pluie ou d'origine maritime;
- fourniture de l'énergie nécessaire pour la détection et respect de la contrainte fixée par l'OMI concernant la précision de distance;
- maintien de la taille de la cellule de distance radar sur toute la plage nominale;
- présence d'un mode à faible puissance permettant de réduire la puissance d'émission de 7 dB.

5 Informations complémentaires concernant les radars de détection et d'évitement à bord des aéronefs sans pilote

Une nouvelle catégorie de radars à bord d'aéronefs, appelés radars de détection et d'évitement, est actuellement mise au point afin d'améliorer la sécurité des vols en émettant des alertes en cas de risque de collision ou de conflit avec des aéronefs non coopératifs. (Dans ce contexte, les aéronefs «non coopératifs» sont des aéronefs qui ne sont pas équipés d'un transpondeur ATCRBS (système de balises radar pour le contrôle du trafic aérien), d'un système ADS-B (surveillance dépendante automatique en mode diffusion), d'un système TCAS (système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions) ou d'un système ACAS (système de prévention des collisions entre aéronefs). Parmi les fonctions que cette catégorie de radars est censée assurer, plusieurs se chevauchent partiellement: évitement des collisions, évitement des conflits, espacement des aéronefs, espacement de sécurité, détection et évitement et «due regard». Cette catégorie de radars présente un intérêt particulier pour les applications relatives aux aéronefs sans pilote, dans lesquels il n'y a pas de pilote à bord pour assurer visuellement la fonction de sécurité des vols.

Les radars de détection et d'évitement doivent poursuivre tous les aéronefs pouvant présenter une menace (appelés «intrus») situés dans leur champ de vision tout en recherchant simultanément les nouvelles menaces. Etant donné qu'il sera fréquent que plusieurs intrus se trouvent dans le champ de vision du radar, un système de poursuite de plusieurs cibles est nécessaire. Une fonction relativement rapide de poursuite et balayage simultanés est nécessaire, ou bien des fonctions entrelacées de recherche et de poursuite dans un mode appelé «recherche et poursuite simultanées» dans lequel des mises à jour de la poursuite sont programmées en fonction des besoins. Ce type de fonctionnement nécessite une agilité de faisceau qui ne peut pas être assurée par une antenne à balayage mécanique. C'est la raison pour laquelle tous les radars de détection et d'évitement à bord d'aéronefs actuellement en cours de mise au point utilisent soit des antennes à balayage électronique, soit des techniques de formation de faisceau pour assurer les fonctions requises de recherche et de poursuite.

La portée nécessaire pour la détection et la poursuite dépend du délai d'alerte nécessaire, lequel dépend de la vitesse de la plate-forme hôte (appelée «aéronef porteur»), de la vitesse des menaces potentielles, des possibilités de manoeuvre de l'aéronef porteur, du type de manoeuvre d'évitement (par exemple latérale ou verticale) et du délai nécessaire pour lancer et exécuter la manoeuvre d'évitement. Un aéronef sans pilote dont la vitesse est relativement élevée et dont la manoeuvrabilité

est limitée nécessiterait un détecteur avec une portée plus grande qu'un aéronef sans pilote dont la vitesse est plus faible et qui est plus facile à manoeuvrer. La distance à laquelle une alerte de menace doit être émise est généralement comprise entre 2,5 et 20 km selon les caractéristiques de la plate-forme hôte, les caractéristiques de l'intrus, la distance de séparation requise et les erreurs de mesure. Les cibles doivent être poursuivies à une distance plus élevée pour pouvoir assurer cette fonction d'alerte.

La gamme de fréquences 8 500-10 500 MHz est intéressante pour cette catégorie de radars car elle offre un bon compromis entre la précision de la poursuite et la capacité de fonctionner en présence de pluie faible à modérée. Aux fréquences plus élevées, la précision de la mesure de l'angle serait meilleure pour une taille d'antenne donnée, mais lorsque la fréquence augmente, l'augmentation de l'affaiblissement dû à la pluie est beaucoup plus rapide que l'amélioration de la précision de la mesure de l'angle. Aux fréquences plus faibles, les effets dus à la pluie seraient nettement réduits mais il faudrait des antennes avec des ouvertures qui risquent d'être trop grandes pour le véhicule hôte. Dans cette gamme de fréquences, deux sous-bandes particulièrement intéressantes (8 750-8 850 MHz et 9 300-9 500 MHz) ont été identifiées dans le Rapport UIT-R M.2204 comme appropriées pour ce type d'application et sont attribuées au service de radionavigation aéronautique (SRNA).

D'autres caractéristiques des radars de détection et d'évitement sont énumérées ci-dessous.

- On utilise généralement deux ou trois faces d'antenne à balayage électronique pour assurer une couverture en azimut de ± 110 degrés.
- On utilise des formes d'onde avec une fréquence de répétition des impulsions moyenne ou élevée comprise entre 5 et 60 kHz pour assurer la suppression des échos parasites en mode de détection vers le bas. On peut utiliser des formes d'onde avec une fréquence de répétition des impulsions faible d'environ 1 à 2 kHz en mode de détection vers le haut pour éviter toute ambiguïté de distance.
- Pour l'amplification de puissance RF, on utilise des semi-conducteurs, avec un facteur d'utilisation en émission généralement compris entre 4 et 20%.
- Une compression d'impulsions avec codage de phase (par exemple, codes de Barker, codes de pseudo-bruit, codes «P» de *Lewis-Kretschmer*, etc.) ou modulation de fréquence linéaire est souvent employée pour réduire la taille de la cellule de distance afin d'améliorer le rapport cible/échos parasites tout en maintenant un facteur d'utilisation élevé.
- Le traitement numérique du signal utilise des largeurs de bande de filtre Doppler comprises entre 50 et 500 Hz permettant une discrimination de la cible en fonction de la vitesse et facilitant le rejet des échos parasites.
- La mesure de l'angle mono-impulsion permet d'assurer une poursuite angulaire précise pour les échos provenant d'une cible fluctuante.
- On peut utiliser l'agilité en fréquence pour décorrélérer les fluctuations de la cible, ce qui permet d'améliorer la probabilité de détection et la qualité de la poursuite.
- Une antenne de garde (également appelée dispositif de suppression des lobes latéraux) peut être employée pour atténuer les effets des échos de sol et des brouillages reçus par les lobes latéraux de l'antenne.

Les caractéristiques d'un exemple de radar de détection et d'évitement sont présentées dans le Tableau 1 (Système A13).

6 Futurs systèmes de radiorepérage

Pour simplifier, on peut dire que les radars de radiorepérage qui seront vraisemblablement mis au point à l'avenir pour la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz ressembleront aux radars décrits dans la présente Recommandation. Le futur réseau de radars météorologiques Doppler répartis permettra de procéder à des échantillonnages en volume de haute résolution dans la totalité de la troposphère, et son fonctionnement sera très efficace puisqu'il reposera sur des systèmes à semi-conducteurs à faible puissance. D'autres paramètres techniques – diamètre d'antenne de 1 m et modes de fonctionnement à faible coefficient d'utilisation – cadrent avec ceux des radars de radiorepérage actuellement exploités dans la bande de fréquences 8 500-10 680 MHz. Les radars de radiorepérage qui seront mis au point dans l'avenir auront vraisemblablement au moins autant de souplesse que les radars déjà décrits et ils auront notamment la possibilité de fonctionner différemment selon le secteur en azimut et en élévation.

On peut raisonnablement penser que certains radars de future génération auront la capacité de fonctionner dans une bande de fréquences large allant au moins jusqu'aux limites de la bande de fréquences dont il est question dans le présent exposé.

Les radars de radiorepérage qui seront mis au point à l'avenir auront vraisemblablement des antennes dont les faisceaux peuvent être orientés électroniquement. Compte tenu des techniques actuellement disponibles, la commande de phase constitue une alternative pratique intéressante à la commande de fréquence et un grand nombre de radars de radiorepérage mis au point ces dernières années et exploités dans d'autres bandes de fréquences utilisent une commande de phase à la fois en azimut et en élévation. A la différence des radars à commande de fréquence (par exemple les Systèmes 15 et 17), un radar à commande de phase de la nouvelle génération peut se caler sur n'importe quelle fréquence fondamentale située dans sa bande de fréquences de fonctionnement et pointer vers un angle arbitraire en azimut et en élévation de sa zone de couverture angulaire. Autre avantage, la compatibilité électromagnétique serait facilitée dans de nombreux cas.

Certains des radars de radiorepérage qui seront mis au point à l'avenir devraient avoir des fonctionnalités à puissance moyenne au moins aussi bonnes que celles des radars décrits dans la présente Recommandation. Toutefois, on peut raisonnablement penser que les concepteurs des futurs radars chercheront à ramener les émissions de bruit large bande au-dessous du niveau de celles des radars existants qui utilisent des magnétrons et des amplificateurs à champs croisés. L'utilisation de systèmes d'antenne/d'émetteurs à semi-conducteurs devrait permettre de parvenir à une telle réduction du bruit. Dans ce cas, les impulsions émises seraient plus longues et les coefficients d'utilisation à l'émission seraient sensiblement plus longs que ceux des émetteurs radars de type tube actuellement utilisés.

Annexe 2

Critères de protection applicables aux radars

1 Critères de protection

1.1 Brouillage continu assimilable à du bruit

Des signaux brouilleurs de formes différentes affectent les radars de façon fondamentalement différente et la différence est particulièrement importante selon qu'il s'agit de brouillage continu assimilable à du bruit ou d'impulsions brouilleuses. Un brouillage par ondes continues, par exemple un brouillage assimilable à du bruit, a pour effet de désensibiliser les radars de radiorepérage et cette désensibilisation est bien entendu fonction de l'intensité du brouillage. Quel que soit le secteur azimutal dans lequel se produit un brouillage de ce type, sa densité spectrale de puissance vient tout simplement s'ajouter – et cela est une approximation raisonnable – à la densité spectrale de puissance du bruit thermique du système radar. Si la puissance du bruit du système radar, en l'absence de brouillage, est désignée par N et celle du brouillage assimilable à du bruit par I , la puissance de bruit équivalente résultante est simplement $I + N$.

Compte tenu de ce fait, l'UIT-R a de tout temps basé les critères de protection applicables aux radars sur les contraintes liées au maintien d'un rapport signal/bruit du signal écho renvoyé par la cible suffisamment fort en présence de brouillage: l'augmentation de la puissance du signal écho de la cible doit donc être proportionnelle à l'augmentation de la puissance de bruit qui passe de N à $I + N$. Pour ce faire, il faut accepter que les portées de détection maximales pour certaines cibles soient plus courtes, ou sacrifier l'observation des petites cibles ou bien encore modifier le radar pour que sa puissance à l'émission ou le produit puissance-ouverture soient plus élevés. (Dans les radars modernes, le bruit du système de réception est normalement déjà proche d'une valeur minimale irréductible et un traitement du signal pratiquement optimal devient courant.)

Ces contraintes varient selon la fonction du radar et la nature de ses cibles. Pour la plupart des radars, une augmentation d'environ 1 dB du niveau de bruit équivalent aboutirait à la dégradation de qualité de fonctionnement maximale tolérable. Dans le cas d'une cible discrète ayant une surface équivalente radar moyenne ou médiane donnée, cette augmentation conduirait à une diminution de la portée de détection d'environ 6%, quelles que soient les caractéristiques de fluctuation de la surface équivalente radar que pourrait avoir cette cible. Cela est lié au fait que la portée de détection réalisable en espace libre est proportionnelle à la racine quatrième du rapport signal/puissance de bruit (SNR) résultant, conformément à la forme la plus connue de l'équation de distance du radar. Le fait d'augmenter de 1 dB de la puissance de bruit équivalente revient à multiplier la puissance par 1,26, de sorte qu'il faudrait, sans compensation, réduire la portée de détection en espace libre depuis une cible discrète donnée d'un facteur de $1/(1,26^{1/4})$ ou de 1/1,06, soit une réduction d'environ 6% de la portée de détection. Dans l'équation de distance, le SNR est lui 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. A l'inverse, par conséquent, on pourrait contrebalancer une augmentation de 1 dB de la puissance de bruit équivalente en renonçant à détecter les cibles, exception faite de celles ayant une section radar équivalente moyenne 1,26 fois aussi grande que la cible de taille minimale qui pourrait être détectée en l'absence de brouillage ou bien en augmentant la puissance de l'émetteur radar ou le produit puissance-ouverture de 26%. L'une ou l'autre de ces alternatives ne peuvent être acceptées qu'en toute dernière extrémité pour la plupart des émissions des radars et les modifications à apporter au système seraient coûteuses, difficiles, voire impossibles à réaliser, en particulier dans le cas de radars mobiles. Pour des cibles discrètes, ces conséquences négatives du point de vue de la qualité de fonctionnement sont vraies, quels que soient la probabilité

de détection et le taux de fausse alarme donnés et quelles que soient les caractéristiques de fluctuation des cibles.

Les radars d'évitement des perturbations atmosphériques et les radars d'observation des conditions météorologiques installés à bord d'aéronefs diffèrent des radars à cibles discrètes en ce sens que leurs cibles sont étendues: en effet, il s'agit en général de précipitations qui, souvent, couvrent la totalité du faisceau radar (lequel généralement est très étroit). Dans la forme correspondante de l'équation de distance du radar, le SNR est inversement proportionnel au carré de la distance et non à sa puissance quatre. Pour un radar météorologique observant des précipitations couvrant la totalité du faisceau, la réduction de distance, pour une précision donnée de l'estimation du taux de précipitation, correspondrait à la racine carrée du facteur d'accroissement de 1 dB soit $(1,26)^{1/2}$, ce qui équivaut à 1,12. Il y a donc une perte de 12% de la portée de détection en présence d'un tel brouillage, ce qui correspond également à une perte de 21% de la couverture de zone. Sinon, pour une distance donnée, le brouillage augmenterait (c'est-à-dire dégraderait) la réflectivité minimale mesurable des cibles météo d'environ 26%, là aussi sans tenir compte des caractéristiques de fluctuation de cette grandeur.

Les radars d'imagerie à synthèse d'ouverture (SAR, *synthetic aperture imaging radar*) réalisent une intégration cohérente des impulsions retour sur le temps nécessaire au faisceau de l'antenne radiofréquence pour traverser chaque pixel de la scène observée en raison du déplacement de la plateforme radar. Etant donné que la largeur de la zone au sol illuminée par le faisceau est directement proportionnelle à la distance (elle est elle-même généralement proportionnelle à l'altitude de la plateforme radar et, par ailleurs, augmente avec l'angle de fauchée), le nombre d'impulsions pouvant être intégrées et, par voie de conséquence, le gain de traitement par intégration rapporté au bruit, est lui aussi proportionnel à la distance. Dans la mesure où la souplesse de conception le permet, le SNR en sortie (traité) est par conséquent modifié: ce rapport n'est plus inversement proportionnel à la puissance quatre de la distance, ce qui est le cas avec une cible discrète observée par radar à ouverture réelle mais à la puissance trois de la distance. Par conséquent, le fait d'augmenter de 1 dB la puissance de bruit équivalente, c'est-à-dire de multiplier la puissance par un facteur de 1,26, nécessiterait de réduire la distance d'un radar à synthèse d'ouverture par rapport à un endroit donné dont il va créer une image d'un facteur de $1/(1,26^{1/3})$ ou 1/1,077, ce qui représente une perte de 7,7%. Pour autant que les restrictions d'exploitation permettent une telle réduction de distance, cela entraînerait à son tour une réduction correspondante de la vitesse à laquelle les données d'imagerie peuvent être recueillies, ce qui ne peut aussi être accepté qu'en toute dernière extrémité. Une autre solution consisterait à augmenter la puissance moyenne de l'émetteur du radar SAR de 26%, ce qui là aussi est difficilement acceptable.

1.1.1 Agrégation des contributions de brouillage

L'augmentation de 1 dB dont il est question dans les paragraphes précédents correspond à un rapport $(I + N)/N$ de 1,26 soit un rapport I/N d'environ -6 dB, ce qui représente l'effet cumulatif de tous les brouilleurs tolérables. Ces chiffres sont valables aussi bien dans le cas d'une réception via le faisceau principal du radar que d'une réception simultanée via les lobes latéraux. Le niveau tolérable du rapport I/N pour une source de brouillage assimilable à du bruit donnée dépend donc du nombre de sources de brouillage ainsi que de leur géométrie et devrait donc être évalué dans le cadre de l'analyse d'un scénario donné. Cela découle du fait que la quasi-totalité des radars exploités dans cette bande effectuent des missions dictées par les événements, observent des cibles «non coopératives» et n'ont pas l'avantage que procure une certaine redondance, notamment l'avantage d'une retransmission des paquets, technique de plus en plus utilisée dans le domaine des communications. En substance, la détection, y compris la détection radar, constitue une utilisation du spectre des fréquences radioélectriques fondamentalement différente de celle qu'en font les systèmes de communication et les mêmes règles de protection contre les brouillages ne s'appliquent pas dans les deux cas.

1.2 Impulsions de brouillage

Il est plus difficile de quantifier l'incidence des impulsions de brouillage, laquelle dépend beaucoup de la conception du dispositif de traitement à bord du récepteur et du mode de fonctionnement du système. En particulier, les gains de traitement différentiel pour un retour de cible valable (impulsions synchrones) et pour des impulsions de brouillage (qui habituellement ne sont pas synchrones) ont souvent des conséquences importantes sur l'incidence de niveaux donnés des impulsions de brouillage. Ces brouillages peuvent être à l'origine d'une dégradation de la qualité de fonctionnement sous diverses formes. L'évaluation de cette dégradation constituera un objectif des analyses et/ou des essais relatifs aux interactions entre des types de radar bien précis. En général, les nombreuses caractéristiques des radars des types décrits dans le présent document devraient permettre de supprimer les impulsions de brouillage à faible coefficient d'utilisation, en particulier celles provenant d'un petit nombre de sources isolées. Les techniques de suppression des impulsions de brouillage à faible coefficient d'utilisation sont données dans la Recommandation UIT-R M.1372 – Utilisation efficace du spectre radioélectrique par les stations radar du service de radiorepérage.

2 Critères de protection applicables aux radars de radionavigation installés à bord de navires

Les critères de protection applicables aux radars actuellement installés à bord de navires pour les scénarios décrits ci-dessus n'ont pas encore fait l'objet d'un accord au niveau international. La Recommandation UIT-R M.1461 donne toutefois une valeur générique de -6 dB pour le rapport I/N .

L'OMI a procédé à une révision des normes de qualité de fonctionnement applicables aux radars installés à bord de navires et cette révision tient compte des spécifications récemment formulées par l'UIT en ce qui concerne les rayonnements non essentiels. Cette révision de l'OMI, pour la première fois, reconnaît la possibilité de brouillages occasionnés par d'autres services de radiocommunication et comprend de nouvelles spécifications pour ce qui est de la détection de cibles données, sous forme de surface radar équivalente (fluctuante) et de distance requise, en fonction de la bande de fréquences du radar. Une cible doit pouvoir être détectée sur au moins huit balayages sur dix avec une probabilité de fausse alarme de 10^{-4} . Ces critères de détection sont spécifiés en l'absence d'échos parasites d'origine maritime, de précipitations et de phénomènes d'évaporation par conduit, pour une hauteur d'antenne de 15 m au-dessus du niveau de la mer.

Mais surtout les autorités maritimes internationales ont déclaré, sans aucune réserve, dans leur récente actualisation de la Convention de l'OMI sur la sécurité de la vie en mer, que les systèmes radar demeurent les systèmes de détection essentiels pour l'évitement des collisions.

Cette déclaration doit être considérée dans le contexte de l'installation obligatoire, à bord de certains navires, de systèmes d'identification automatique, lesquels dépendent de références extérieures (GPS par exemple) pour la vérification de la position relative dans les scénarios d'évitement des collisions.

Toutefois, même sur un navire équipé d'un tel système, il ne peut jamais être possible de prendre en considération les divers objets maritimes de types icebergs, débris flottants, épaves, etc., qui ne sont pas naturellement équipés de systèmes d'identification automatique. Or, ces objets sont des causes potentielles de collision avec les navires que les radars doivent pouvoir détecter. En conséquence, le radar restera le principal système d'évitement des collisions dans l'avenir prévisible.

Des discussions approfondies avec les autorités maritimes ainsi qu'avec les utilisateurs ont permis d'adopter un critère d'exploitation, selon lequel pendant tous les voyages en mer aucun brouillage qui ne peut être maîtrisé n'est acceptable.

Dans l'intervalle, l'approche qui a été retenue consiste à procéder à des essais et à déterminer ce que les radars installés à bord de navires actuellement exploités peuvent accepter en termes de rapports I/N exprimés en fonction de la probabilité de détection (voir l'Annexe 3).

Annexe 3

Résultats des essais relatifs aux brouillages

1 Essais relatifs au rapport I/N applicable aux radars

Avant l'adoption des normes révisées de l'OMI, des essais ont été réalisés aux Etats-Unis d'Amérique et au Royaume-Uni afin de déterminer la sensibilité aux diverses formes de brouillage des radars maritimes actuellement utilisés.

Les radars utilisés dans ces essais fonctionnaient dans les bandes de fréquences 2 900-3 100 et 9 200-9 500 MHz. Seuls les essais dans la bande de fréquences 9 300-9 500 MHz sont examinés ici. Les résultats de ces essais sont présentés sous forme d'une probabilité de détection exprimée en fonction du rapport I/N pour chaque type de source de brouillage.

Il convient de noter que ni l'UIT ni aucun autre organisme international n'ont adopté de spécifications concernant les récepteurs des radars maritimes et il n'est donc pas surprenant que les caractéristiques des récepteurs fonctionnant dans cet environnement soient très diverses. Les résultats des essais traduisent cette diversité et font apparaître que la dégradation de la probabilité de détection est continue au fur et à mesure que le niveau de brouillage augmente et qu'il existe un «niveau de coupure» auquel le récepteur ne peut plus accepter le niveau de brouillage donné.

Ces différences sont réelles et existent dans les radars actuellement en service.

1.1 Caractéristiques des radars soumis aux essais

Les deux radars, le radar D et le radar E, sont des radars de la catégorie OMI. Les radars installés à bord d'embarcations de plaisance n'ont pas été pris en compte dans ces essais. Les valeurs nominales des principaux paramètres des radars ont été extraites de documents d'homologation, de brochures de vente ou de manuels techniques. Pour le radar E l'amplificateur/détecteur logarithmique est intégré dans le récepteur alors que pour le radar D l'amplificateur logarithmique est distinct du détecteur vidéo. Pour tous les radars, les fonctions de régulateur de sensibilité temporisé (STC, *sensitivity-time control*) et de découpage des échos longs (FTC, *fast-time-constant*) n'ont pas été activées pendant les essais.

Les caractéristiques des radars D et E sont données dans les Tableaux 6 et 7.

TABLEAU 6
Paramètres du radar D

Paramètre	Unité	Valeur			
Fréquence	MHz	9 410 ± 10			
Puissance d'impulsion	kW	30			
Distance	nmi	0,125-1,5	3-24	48	96
Largeur d'impulsion	µs	0,070	0,175	0,85	1,0
Fréquence de répétition des impulsions	Hz	3 100	1 550	775	390
Largeur de bande FI	MHz	22	22	6	6
Rejet des réponses parasites	dB	Inconnue			
Facteur de bruit du système	dB	5,5			
Largeur de bande RF	MHz	Inconnue			
Fréquence de balayage de l'antenne	tours/min	24/48			
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan horizontal	degrés	1,2			
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan vertical	degrés	25			
Polarisation		Horizontale			

TABLEAU 7
Paramètres du radar E

Paramètre	Unité	Valeur			
Fréquence	MHz	9 410 ± 10			
Puissance d'impulsion	kW	30			
Distance	nmi	0,125-3	6-24	48-96	
Largeur d'impulsion	µs	0,050	0,25	0,80	
Fréquence de répétition des impulsions	Hz	1 800			785
Largeur de bande FI	MHz	20	20	3	
Rejet des réponses parasites	dB	Inconnue			
Facteur de bruit du système	dB	4			
Largeur de bande RF	MHz	Inconnue			
Fréquence de balayage de l'antenne	tours/min	25/48			
Durée de balayage de l'antenne	s	2,4/1,25			
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan horizontal	degrés	2,0			
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan vertical	degrés	30			
Polarisation		Horizontale			

1.2 Caractéristiques de suppression des brouillages du récepteur radar

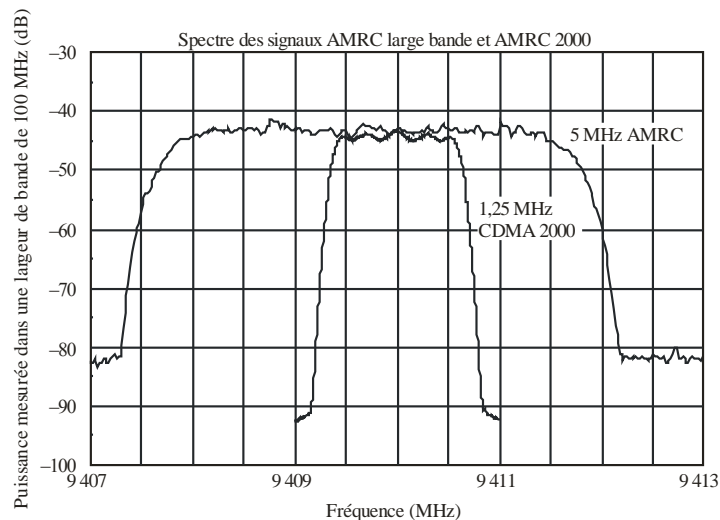
Les deux radars ont utilisé un montage de circuits et le traitement du signal pour limiter les brouillages causés par d'autres radars situés sur le même emplacement. Les radars D et E utilisent des corrélateurs d'impulsion à impulsion ou de balayage à balayage pour limiter les brouillages occasionnés par d'autres radars mais ils n'ont pas de traitement de taux de fausse alarme constant (CFAR, *constant false alarm rate*). Ces techniques de limitation des brouillages sont décrites dans la Recommandation UIT-R M.1372.

1.3 Signaux brouilleurs et cibles

Les signaux brouilleurs étaient notamment des impulsions et des signaux de téléphones mobiles numériques. L'impulsion de brouillage source simulait le signal appliqué à l'entrée d'un radar de localisation. On a utilisé des largeurs d'impulsion de 1 μ s et 2 μ s et des Fréquences de répétition des impulsions équivalant à des coefficients d'utilisation de 0,1% et 1%. Le signal numérique de téléphonie mobile simulait deux signaux d'accès multiple par répartition en code (AMRC) génériques dont l'un avait une largeur de bande de 5 MHz et l'autre une largeur de bande de 1,25 MHz.

Les signaux émis ont été calés sur la fréquence de fonctionnement et commandés par porte de façon à arriver en même temps que les cibles simulées. Les spectres d'émission des signaux brouilleurs AMRC sont illustrés ci-après sur la Fig. 2.

FIGURE 2
Signaux AMRC génériques



M.1796-02

1.4 Génération de cibles non fluctuantes

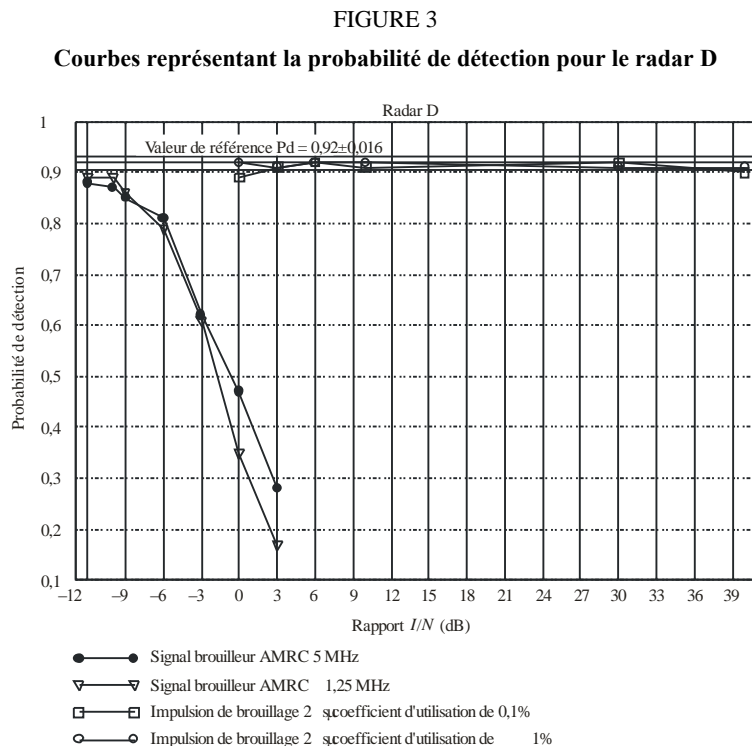
On a utilisé des générateurs de signaux arbitraires, des générateurs de signaux RF, un ensemble de circuits discrets, un ordinateur portable et d'autres composants RF (câbles, coupleurs, combineurs, etc.) pour générer dix cibles équidistantes les unes des autres le long d'une radiale de 3 milles nautiques (environ 5,6 km) qui avaient le même niveau de puissance RF. Le niveau de puissance des cibles simulées a été réglé jusqu'à ce que la probabilité de détection des cibles soit d'environ 90%. Les dix impulsions cibles déclenchées par chaque radar se produisent toutes pendant le temps de retour d'une des plages de courte portée du radar, c'est-à-dire un balayage. Par conséquent les impulsions simulent dix cibles le long d'une radiale, c'est-à-dire un seul relèvement. Pour régler les paramètres d'affichage, la puissance RF du générateur de cibles a été réglée de façon que les dix cibles soient toutes visibles le long de la radiale sur l'écran radar panoramique, les commandes vidéo du

radar étant mises sur des positions représentatives d'un mode de fonctionnement normal. Les valeurs de référence des fonctions du logiciel contrôlant la brillance de la cible et du fond, la teinte et les réglages de contraste ont été trouvées par des expérimentations réalisées par le personnel responsable des essais et avec l'aide des fabricants ainsi que de marins professionnels qui connaissaient bien le fonctionnement de ces types de radars sur des navires de différentes tailles. Une fois ces valeurs déterminées, elles ont été utilisées tout au long du programme d'essais pour ce radar.

1.5 Résultats des essais

1.5.1 Radar D

Pour le radar D, il a été possible d'observer les effets que les signaux brouilleurs avaient sur chaque cible. Pour chaque signal brouilleur, on a pu mesurer la diminution du nombre de cibles visibles sur l'écran radar panoramique au fur et à mesure que le niveau du rapport I/N augmentait. On a compté le nombre de cibles pour chaque niveau du rapport I/N et pour chaque type de brouillage. On a mesuré, avant le début de chaque essai, une valeur de référence de la probabilité de détection des cibles, P_d . Les résultats des essais pour le radar D sont indiqués sur la Fig. 3: la courbe représente la probabilité de détection des cibles P_d visée en fonction du niveau du rapport I/N , pour chaque type de brouillage. La valeur de référence de P_d , sur la Fig. 3, est de 0,92 avec les barres d'erreur sigma-1 0,016 au-dessus et au-dessous de cette valeur. Il est à noter que chaque point sur la Fig. 3 représente un total de 500 cibles recherchées.



M.1796-03

La Fig. 3 montre que, sauf dans le cas d'une impulsion de brouillage, la valeur de P_d visée est tombée au-dessous de la valeur de référence de P_d utilisée dans ces essais, valeur à laquelle on a retranché l'écart type pour les valeurs du rapport I/N supérieures à -12 dB dans le cas d'un signal brouilleur AMRC.

1.5.2 Radar E

Pour le radar E, il a été difficile de mesurer la diminution de la valeur de P_d visée, lorsque le signal brouilleur était appliqué au récepteur du radar. En présence du signal brouilleur l'intensité lumineuse de toutes les cibles faiblissait au même rythme, indépendamment de l'endroit où elles étaient situées dans la chaîne des cibles. Il n'a pas été possible de faire «disparaître» telle ou telle cible en faisant augmenter l'intensité du signal brouilleur ni de compter le nombre de cibles perdues pour calculer P_d . Par conséquent, les données mesurées pour le radar E indiquent si l'apparition de toutes les cibles a été affectée pour chaque niveau du rapport I/N et chaque type de brouillage. Les données concernant le radar E sont résumées dans le Tableau 8.

TABLEAU 8

Radar E avec signaux brouilleurs AMRC commandés par porte

Rapport I/N (dB)	Signal AMRC 5 MHz	Signal AMRC 2000 1,25 MHz
-12	Pas d'effet	Pas d'effet
-10	Pas d'effet	Pas d'effet
-9	Pas d'effet	Pas d'effet
-6	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible
-3	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible
0	La cible n'est plus visible	La cible n'est plus visible
3	La cible n'est plus visible	La cible n'est plus visible
6	La cible n'est plus visible	La cible n'est plus visible

Les données du Tableau 8 montrent que, dans le cas du radar E, les signaux brouilleurs AMRC ont nui à la visibilité des cibles sur l'écran, pour un rapport I/N de -6 dB. A ce niveau en effet, l'intensité lumineuse des cibles sur l'écran radar était notablement plus faible que dans la situation de référence. Pour un rapport I/N de 0 dB ou plus, l'écho lumineux était si faible que les cibles n'étaient plus visibles sur l'écran.

Dans le cas du radar E, les impulsions de brouillage de 2,0 et 1,0 μ s commandées par porte, ayant des coefficients d'utilisation de 0,1 et 1,0%, n'ont pas nui à la visibilité des cibles sur l'écran radar, même lorsque le niveau du rapport I/N était le plus élevé, à savoir 40 dB.

1.6 Résumé des résultats des essais

Des essais ont été effectués pour déterminer, pour des radars et des sources de brouillage bien précis, un niveau du rapport I/N pour lequel le signal brouilleur n'a «aucun effet» (c'est-à-dire que le radar fonctionne en mode de base). Les échos radars non traités appelés couramment «blip» ou «vidéo brute» ont été observés et/ou comptés comme des cibles au cours des essais.

Ce niveau correspondant à «une absence d'effet» est rapporté à une probabilité de détection des cibles en un seul balayage de 90% et il est résumé ci-après sous forme du rapport I/N pour chaque radar et chaque source de brouillage. Les résultats sont résumés dans le Tableau 9. La détermination de la quantité de brouillage que ces types de radars peuvent accepter peut être quelque peu subjective en raison de la vue et de l'expérience de l'opérateur du radar qui regarde l'écran, compte les cibles et évalue l'intensité lumineuse des cibles elles-mêmes. Toutefois, en raison de la conception du radar, le seul moyen pour réaliser ces essais est que l'opérateur/le responsable des essais observe les cibles sur l'écran du radar panoramique.

TABLEAU 9
Résumé des résultats

Source de brouillage	Radar D	Radar E
Impulsion de brouillage 0,1	+40	+40
Impulsion de brouillage 1,0	+40	+40
Signal AMRC 2000 1,25 MHz	-10	-9
Signal AMRC 5 MHz	-12	-9

Il convient de noter qu'il y a d'autres effets du brouillage qui limitent l'efficacité opérationnelle d'un radar. La création de «fausses cibles» en est un exemple. Les radars maritimes utilisés dans les essais n'avaient pas, généralement, de traitement CFAR.

Les résultats de ces essais montrent que, lorsque les signaux émis par des dispositifs utilisant la modulation numérique sont dirigés vers un radar du type de ceux utilisés pendant les essais et dépassent un rapport I/N de -6 dB, on observe que, pour certains des radars, l'intensité lumineuse des cibles commence à faiblir, certaines cibles sont perdues ou de fausses cibles sont créées. Dans le cas d'autres radars, pour un même niveau du rapport I/N , ces effets avaient déjà été observés. Pour l'instant, aucune autre valeur, en dehors de celle déjà spécifiée ($I/N = -6$ dB) n'est recommandée s'agissant du rapport I/N requis pour un scénario donné différent.

Aucun des radars utilisés dans les essais ne relève de la catégorie des radars installés sur des embarcations de plaisance. Ces radars sont les plus nombreux (actuellement plus de 2 000 000 d'unités dans le monde). Ils n'ont pas tous les dispositifs de lutte contre les brouillages dont sont équipés les radars D et E et ils devront peut-être bénéficier d'une protection plus importante pour qu'ils puissent respecter les critères anticollision.

Il ressort de ces essais que les radars peuvent tolérer des impulsions de brouillage à faible coefficient d'utilisation pour un rapport I/N élevé car ils sont équipés d'un circuit de limitation des brouillages entre radars et/ou d'un dispositif de traitement du signal intégré. Les techniques de limitation des brouillages de radar à radar (corrélateurs de balayage à balayage ou d'impulsion à impulsion et traitement CFAR décrits dans la Recommandation UIT-R M.1372) fonctionnent très bien. Toutefois, ces mêmes techniques ne permettent pas de limiter les brouillages continus ou les émissions à faible coefficient d'utilisation élevés assimilables à du bruit, au niveau du récepteur du radar.

Etant donné que les caractéristiques de conception et de fonctionnement de la plupart des radars maritimes exploités dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz sont très similaires, on peut penser que les critères de protection ne varieront pas beaucoup par rapport à ceux qui ont été calculés à partir des radars utilisés dans ces essais. Par conséquent, les résultats de ces essais devraient s'appliquer à d'autres radars similaires qui fonctionnent également dans la bande de fréquences 9 200-9 500 MHz.

Les autorités qui souhaitent effectuer des études de partage, en vue d'un éventuel partage dans la bande désignée, devraient utiliser ces résultats à titre indicatif dans leurs études, sachant que les résultats des essais donnés dans les § 1.5 et 1.6 et en particulier dans le Tableau 9 étaient basés sur des cibles non fluctuantes. Si les essais avaient été effectués avec des cibles fluctuantes les résultats auraient, vraisemblablement, été différents.