

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R M.1796**  
(03/2007)

**Caractéristiques des radars terrestres du  
service de radiorepérage fonctionnant dans  
la bande de fréquences 8 500-10 500 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 œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	<b>Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés</b>
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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, 2010

© UIT 2010

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\*

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

(Question UIT-R 226/5)

(2007)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation expose les caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radiorepérage fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 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.

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;
- c) que l'UIT-R envisage la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes ou de services dans les bandes, comprises entre 420 MHz et 34 GHz, utilisés 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,

*notant*

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

---

\* La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications de forme au texte de la présente Recommandation en 2009, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

*reconnaissant*

- a) que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro 4.10 du Règlement des radiocommunications;
- b) que les critères de protection requis dépendent du type spécifique de signal brouilleur;
- c) 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 8 500-10 500 MHz;
- 2 d'utiliser la présente Recommandation, avec la Recommandation UIT-R M.1461, comme schéma directeur dans 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 8 500-10 500 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 9 300-9 500 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 (voir la Note 2).

NOTE 1 – On trouvera un complément d'information sur ce point à l'Annexe 2. Plus particulièrement, la dégradation de couverture résultant du critère proposé pour les radars météorologiques (21%) est supérieure à ce que l'on observe dans le cas d'autres systèmes de radiorepérage. L'application de ce critère aux radars météorologiques semble appeler un complément d'étude.

NOTE 2 – La question de la variation de la SER est actuellement étudiée par l'UIT-R.

## **Annexe 1**

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

#### **1 Introduction**

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

## 2 Caractéristiques techniques

La bande 8 500-10 500 MHz est utilisée par un grand nombre de types différents de radars terrestres fixes ou transportables, installés à bord de navires ou installés sur des plates-formes dans l'atmosphère. Les fonctions de radiorepérage dans cette bande 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 au niveau des cycles d'émission, des largeurs de bande d'émission, de la présence d'une modulation d'impulsion et des types de modulation, des capacités éventuelles d'agilité en fréquence, des puissances de crête et des puissances moyennes des émetteurs et des 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 syntonisation des équipements. Les Tableaux 1, 2 et 3 reprennent les caractéristiques techniques de systèmes représentatifs des types de radars de radiorepérage et de radionavigation exploités dans la bande 8 500-10 500 MHz.

Les principaux radars de radiorepérage exploités dans cette bande 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 présentent normalement les caractéristiques générales suivantes:

- leur puissance d'émission de crête et leur moyenne d'émission, 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. Leur type de modulation est soit linéaire – ou non linéaire –, en fréquence «chirp» ou en modulation par codage en phase dans l'impulsion;
- 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 dans les lobes latéraux, traitement des trains d'impulsion à porteuse cohérente assurant la suppression des renvois parasites par indication de cible mobile (MTI, *moving-target-indication*), 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 «chirp» peuvent fonctionner sur différentes largeurs de bande; certains systèmes 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 indiquées dans les Tableaux 1, 2 et 3, 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 cycles de fonctionnement, des niveaux de puissance, des circuits émetteurs, etc., des dispositifs utilisés dans cette bande, sans pour autant rendre compte de l'intégralité des attributs que pourraient présenter les futurs systèmes.

TABLEAU 1

**Caractéristiques des radars de radiorepérage aéroportés fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 MHz**

Caractéristiques	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 de syntonisation (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	17 kW	143 kW (minimum) 220 kW (maximum)	95 kW	1,5 kW
Largeur d'impulsion (µs) et fréquence de répétition des impulsions	0,285; 8 200 à 23 000 impulsions/s	2,5; 0,5 400 et 1 600 impulsions/s	0,3, 2,35 et 4 respectivement 2 000, 425 et 250 impulsions/s	Sans objet
Cycle de service maximal	0,0132	0,001	0,001	1
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion (µs)	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	Planaire à fentes	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	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	118 balayages/min	6 ou 12 révolutions/min	Jusqu'à 53 balayages/min	90°/s
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	59 balayages/min	Sans objet	Jusqu'à 137 balayages/min	90°/s
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 extrêmes)	7,5 dBi à $15^\circ$	Non spécifié	5,3 dBi à $10^\circ$	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 du récepteur, fréquence intermédiaire (FI) à 3 dB (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 du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non spécifié
Largeur de bande d'émission radiofréquence (MHz)			(En fonction de la fréquence et de la largeur d'impulsion)	
- 3 dB	3,1; 0,11	0,480; 2,7	100 à 118	Non spécifiée
- 20 dB	22,2; 0,79	1,5; 6,6	102 à 120	Non spécifiée

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Système A5	Système A6a <sup>(1)</sup>	Système A6b <sup>(1)</sup>
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 de syntonisation (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 ( $\leq 600$ 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	150 W	$\leq 150$ W	$\leq 150$ W
Largeur d'impulsion ( $\mu$ s) et fréquence de répétition des impulsions	1 à 20 180 à 9 000 impulsions/s	WA: 0,2-230; WS: 2 WA: 2 000 impulsions/s pour des impulsions de 0,2-6 $\mu$ s, retombant à 230 impulsions/s pour des impulsions de 230 $\mu$ s; 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 $\mu$ s, retombant à 220 impulsions/s pour des impulsions de 260 $\mu$ s; DBS: 700-1 600 impulsions/s pour toutes les largeurs d'impulsion
Cycle de service maximal	Non spécifié	WA: 0,054; WS: 0,0076	MGM: 0,057; DBS: 0,033 (0,024 à long terme)
Temps de montée/de descente de l'impulsion ( $\mu$ s)	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	Transistorisé	Transistor à effet de champ	Transistor à effet de champ
Type de diagramme de rayonnement d'antenne	Crayon	Crayon	Eventail

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Système A5	Système A6a <sup>(1)</sup>	Système A6b <sup>(1)</sup>
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 dans le plan azimutal (degrés)	3,5	2,7	2,7
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	Non spécifiée	≤ 40 balayages/min	≤ 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 extrêmes)	+3,4 dBi	8 dBi à 4,2°	3,7 dBi 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 du récepteur, FI à 3 dB (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	Système A5	Système A6a <sup>(1)</sup>	Système A6b <sup>(1)</sup>
Facteur de bruit du récepteur (dB)	4,0	5	5
Niveau minimal du signal discernable (dBm)	-125	≥ -110	≥ -110
Largeur de bande du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission radiofréquence (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	Systèmes A7a, A7b, et A7c <sup>(2)</sup>	Système A7d <sup>(2)</sup>	Systèmes A7e et A7f <sup>(2)</sup>	Système A8
Fonction	Recherche de surface et imagerie SAR	Navigation	Imagerie SAR inverse	Recherche (radiolocalisation) Météorologie
Gamme de syntonisation (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	50 kW	50 kW	50 kW	10 kW
Largeur d'impulsion (µs) et Fréquence de répétition des impulsions	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)

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Systèmes A7a, A7b, et A7c <sup>(2)</sup>	Système A7d <sup>(2)</sup>	Systèmes A7e et A7f <sup>(2)</sup>	Système A8
Cycle de service maximal	0,010 (5 $\mu$ s et 13,5 $\mu$ s); 0,004 (10 $\mu$ s)	0,004	0,010	0,04
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion ( $\mu$ s)	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	Eventail
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 dans le plan azimutal (degrés)	2,4	2,4	2,4	1,8
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	36°, 360° et 1 800°/s	36°, 360°, 1 800°/s	36°, 360° et 1 800°/s	15 ou 60 tours par minute
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	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	Angle de bascule réglable 0°/-90°	Angle de bascule réglable 0°/-90°	Angle de bascule réglable 0°/-90°	Angle de bascule réglable +15°/-15°
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux extrêmes)	14,5 dBi à 12°	14,5 dBi à 12°	14,5 dBi à 12°	20 dBi
Hauteur d'antenne	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Systèmes A7a, A7b, et A7c <sup>(2)</sup>	Système A7d <sup>(2)</sup>	Systèmes A7e et A7f <sup>(2)</sup>	Système A8			
Largeur de bande du récepteur, fréquence intermédiaire à 3 dB (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 du chirp (MHz)	Recherche: 500 (5 µs) ou 100 (10 µs) SAR: 660	5	100 ou 200	10			
Largeur de bande d'émission radiofréquence (MHz)	Recherche (5 µs)	Recherche (10 µs)	chirp de 100 MHz	chirp de 200 MHz			
- 3 dB	470	95	640	4,5	95	190	9,3
- 20 dB	540	110	730	7,3	110	220	12

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Système A9	Système A10	Système A11
Fonction	Radar météo, recherche et sauvetage, cartographie des sols	Radar météo, cartographie des sols, recherche	Météorologie, cartographie des sols, recherche et sauvetage
Gamme de syntonisation (MHz)	Radar: 9 375 ±10; Radiobalise: 9 310	Impulsion de préchauffage: 9 337 et 9 339 (avant chaque impulsion utile) Impulsion utile: 9 344	9 375 ± 30 MHz
Modulation	Impulsion	Impulsion	Impulsion
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	25 kW	26 W (14 dBW)	2,5-6,0 kW

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Système A9	Système A10	Système A11
Largeur d'impulsion ( $\mu\text{s}$ ) et fréquence de répétition des impulsions	4,5, 2,4, 0,8, et 0,2 $\mu\text{s}$ à 180, 350, 350 et 1 000 impulsions/s,	9 337 et 9 339 MHz: 1-29 $\mu\text{s}$ à 2 200-220 impulsions/s (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 $\mu\text{s}$ à 2 200-220 impulsions/s (dispersée)	fixe, 4 $\mu\text{s}$ 106,5 impulsions/s
Cycle de service maximal	0,00082	9 337 et 9 339 MHz: $\leq 0,064$ 9 344 MHz: $\leq 0,011$ (avec impulsions de 17 $\mu\text{s}$ )	0,00043
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion ( $\mu\text{s}$ )	Non spécifié	9 337 et 9 339 MHz: 0,3/0,2 9 344 MHz: 0,5/0,5	Temps de montée: 0,3 $\mu\text{s}$ Temps de descente: 0,4 $\mu\text{s}$
Système de sortie	Magnétron à fiabilité élevée	Diode IMPATT	Magnétron
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne	Crayon et éventail	Crayon	Crayon
Type d'antenne	Réseau plan	Réseau plan	Réseau plan
Polarisation de l'antenne	Horizontale et verticale	Horizontale	Horizontale
Gain d'antenne, faisceau principal (dBi)	Crayon: 30; éventail: 29	29	26,7
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation (degrés)	Crayon: 3; éventail: 6	< 10	8,1
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan azimutal (degrés)	Crayon: 3; éventail: 3	7	8,1
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	360°: 12 tours/min (longue portée), 45 tours/min (courte portée) Secteur: non spécifiée	30°/s	25°/s
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	Continu (360°) Sectoriel (90°)	Sectoriel 60° ou 120°	Secteur tridimensionnel: (90° ou 120°)

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques	Système A9	Système A10	Système A11
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Fréquence de balayage vertical de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel)	Sans objet	Angle de bascule choisi par l'opérateur: $\pm 30^\circ$	Secteur tridimensionnel: $\pm 30^\circ$
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux extrêmes)	Non spécifié	+13,9 dBi	+4,7 dBi
Hauteur de l'antenne	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur	Altitude de l'aéronef porteur
Largeur de bande du récepteur, fréquence intermédiaire à 3 dB (MHz)	Non spécifiée	2,0	1,0
Facteur de bruit du récepteur (dB)	6,5	2	5
Niveau minimal du signal discernable (dBm)	Non spécifié	-128 (sensibilité de détection après traitement)	-110
Largeur totale du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission radiofréquence (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 MHz
– 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 MHz

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

(2) Radar multimode.

TABLEAU 2

## Caractéristiques des radars de radiorepérage embarqués fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 MHz

Caractéristiques	Système S1	Système S2	Système S3	Système S4		Système S5
Fonction	Radar de recherche de navigation	Radar de poursuite	Radar de recherche à basse altitude et en surface (multifonctions)	Radar de radionavigation maritime <sup>(3)</sup>		Radar de surveillance en surface et de navigation
Type de plate-forme	Embarquée, sites de formation à terre	Embarquée	Embarquée	Embarquée		Embarquée
Gamme de syntonisation (MHz)	8 500-9 600	10 000-10 500	8 500-10 000	9 375 ± 30 et 9 445 ± 30		9 300-9 500
Modulation	Impulsion	Ondes entretenues, ondes entretenues MF	Impulsion agile en fréquence <sup>(4)</sup>	Impulsion		Ondes entretenues modulation de fréquence
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	35 kW	13,3 kW	10 kW	5 kW (min)	50 kW (max)	1 mW à 1 W
Largeur d'impulsion (µs) et fréquence de répétition des impulsions	0,1; 0,5 1 500; 750 impulsions/s	Sans objet Sans objet	0,56 à 1,0; 0,24 19 000 à 35 000 impulsions/s; 4 000 à 35 000 impulsions/s	0,03 (min) à 4 000 impulsions/s (max)	1,2 (max) à 375 impulsions/s (min)	Sans objet 1 000 <sup>(5)</sup>
Cycle de service 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	Eventail	Crayon	Crayon	Eventail		Eventail
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	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 dans le plan azimutal (degré)	3	1	1,5	0,75 (min)	2,3 (max)	1,4
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	9,5 tours/min	90°/s	180°/s	20 (min)	60 (max)	24 tours/min
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	360° (mécanique)	360° (mécanique)	360° ou recherche/poursuite sectorielle (mécanique)	360°		360°
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	Sans objet	90°/s	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 extrêmes)	Non spécifié	23 dBi (premiers lobes latéraux)	23 dBi (premiers lobes latéraux)	4 dBi à ≤ 10° (min) 3 dBi à ≥ 10° (max)	9 dBi à ≤ 10° (max) 2 dBi à ≥ 10° (max)	5 dBi (premiers lobes latéraux)
Hauteur d'antenne	Montage mât/pont	Montage mât/pont	Montage mât/pont	Montage mât/pont		Montage mât/pont
FI de réception (MHz)	Non spécifiée	Non spécifiée	Non spécifiée	45 (min)	60 (max)	

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Système S1	Système S2	Système S3	Système S4		Système S5
Largeur de bande du récepteur, FI à 3 dB (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 totale du chirp (MHz)	Sans objet	Non spécifiée	Sans objet	Sans objet		1,7 à 54
Largeur de bande d'émission radiofréquence (MHz) - 3 dB - 20 dB	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	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9	
Fonction	Radar de radionavigation maritime	Navigation et recherche	Radar de radionavigation maritime <sup>(6)</sup>	Radar de radionavigation maritime <sup>(7)</sup>	
Type de plate-forme	Montée à bord de navire	Montée à bord de navire	Montée à bord de navire	Montée à bord de navire	
Gamme de syntonisation (MHz)	9 380-9 440	9 300-9 500	9 410 ±30	9 410 ±30	9 445 ±30
Modulation	Impulsion	Impulsion	Impulsion	Impulsion	
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	25 kW	1,5 kW	5 kW	1,5-10 kW	
Largeur d'impulsion (µs) et Fréquence de répétition des impulsions	0,08; 0,2; 0,4; 0,7 et 1,2 2 200 impulsions/s (0,08 µs); 1 800, 1 000 et 600 impulsions/s (1,2 µs)	0,08; 0,25 et 0,5 2 250, 1 500 et 750 impulsions/s	0,05; 0,18 et 0,5 3 000 impulsions/s à 0,05 µs à 1 000 impulsions/s à 0,5 µs	0,08 (min) à 3 600 impulsions/s	1,2 (max) à 375 impulsions/s
Cycle de service 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	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan azimutal (degrés)	0,95	6	0,95	1,9-7
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	24 tours/min	24 tours/min	30 tours/min	24 tours/min
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	360°	360°	360°	360°
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	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 extrêmes)	Non spécifié	+2,9 dBi	< 5 dBi jusqu'à 10°; ≤ 2 dBi en dehors de 10°	faisceau principal 22 dBi: 3 à 4 dBi jusqu'à 10°; 0 à 3 dBi en dehors de 10° faisceau principal 30 dBi: 7 à 10 dBi jusqu'à 10°; -2 à +7 dBi en dehors de 10°
Hauteur d'antenne	Mât	Mât	Mât	Mât
FI de réception (MHz)	Non spécifiée	Non spécifiée	50	45-60
Largeur de bande du récepteur, FI à 3 dB (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 (dB)	-97 (plancher de bruit)	-102 (plancher de bruit)	Non spécifié	Non spécifié

TABLEAU 2 (*fin*)

Caractéristiques	Système S6	Système S7	Système S8	Système S9
Largeur totale du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Largeur de bande d'émission radiofréquence (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 (balayage/s).
- (6) Navigation sur fleuves et rivières.
- (7) Catégorie embarcation de plaisance.

TABLEAU 3

Caractéristiques des radiobalises et des radars de radiorepérage installés au sol fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 MHz<sup>1</sup>

Caractéristiques	Système G1	Système G2	Système G3	Système G4	Système G5
Fonction	Répéteur de radiobalise de rendez-vous	Répéteur de radiobalise de rendez-vous	Radar de poursuite	Radar de poursuite	Radar d'approche de précision et d'atterrissage
Type de plate-forme	Embarquée	Installation au sol (portable à dos d'homme)	Au sol (remorque)	Au sol (remorque)	Au sol (remorque)
Gamme de syntonisation (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 entretenue MF	Impulsion agile en fréquence
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	300 W	20 à 40 W	31 kW	14 kW	120 kW
Largeur d'impulsion ( $\mu$ s) et fréquence de répétition des impulsions	0,3 10 à 2 600 impulsions/s	0,3 à 0,4 Moins de 20 000 impulsions/s	1 7 690 à 14 700 impulsions/s	Sans objet Sans objet	0,25 6 000 impulsions/s
Cycle de service maximal	0,00078	0,008	0,015	1	0,0015
Temps de montée/temps de descente ( $\mu$ s)	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 planaire	Réseau planaire de dipôles

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	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 dans le plan azimutal (degrés)	360	65; 10	1,74	1	1,1
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	90°/s	5-30°/s
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	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	90°/s	5-30°/s
Type de balayage vertical de l'antenne	Sans objet	Sans objet	Sectoriel: bascule $\pm 90^\circ$ (balayage en fréquence)	Sectoriel: bascule $\pm 90^\circ$ (mécanique)	Sectoriel: $+7/-1^\circ$ (balayage en fréquence)
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux extrêmes)	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 du récepteur, FI à 3 dB (MHz)	24	40	1	0,52	2,5

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	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 du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non spécifiée	Sans objet
Largeur de bande d'émission radiofréquence (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	Système G6	Système G7	Système G8
Fonction	Surveillance d'aéroport/contrôle de l'approche du sol	Radar d'approche de précision	Equipement d'aéroport de détection de surface (ASDE, <i>airport surface detection equipment</i> )
Type de plate-forme	Sol (mobile)	Sol (fixe ou transportable)	Sol
Gamme de syntonisation (MHz)	9 025	9 000-9 200 (4 fréquences/système)	9 000-9 200; agilité d'impulsion à impulsion sur 4 fréquences
Modulation	Cohérente et modulation non linéaire de fréquence (NLFM, <i>non-linear frequency modulation</i> )	Cohérente et NLFM par paires d'impulsions	Cohérente et NLFM par paires d'impulsions
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	310,5 W	500 W	60 W

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Système G6	Système G7	Système G8
Largeur d'impulsion ( $\mu\text{s}$ ) et fréquence de répétition des impulsions	1,2; 30 et 96 respectivement 12 800, 3 200-6 300 et 2 120 impulsions/s	Paires 0,65 et 25 3 470, 3 500, 5 200 et 5 300 impulsions/s	0,04 et 3,7 (compression à 0,040) 4 000 impulsions/s
Cycle de service maximal	0,203	0,11	0,015
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion ( $\mu\text{s}$ )	Non spécifié	0,15/0,15 et 0,15/0,15	Impulsion brève: 0,02/0,12; Impulsion longue: 0,11/0,12
Système de sortie	Semi-conducteurs	Transistors	Semi-conducteurs avec combineur
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne	Eventail ( $\text{csc}^2$ )	Eventail vertical et éventail horizontal	$\text{csc}^2$ inverse
Type d'antenne	Réseau actif + réflecteur	Deux réseaux à commande de phase	Réseau passif
Polarisation de l'antenne	Verticale	Circulaire dextrogyre	Circulaire
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)	$3,5 + \text{csc}^2$ à 20	Eventail vertical: 9,0 Eventail horizontal: 0,63	17
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan azimutal (degrés)	1,05	Eventail vertical: 1,04 Eventail horizontal: 15	0,35
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	$12^\circ/\text{s}$	Eventail vertical: $60^\circ/\text{s}$ , moitié du temps (60 balayages/min)	60 tours/min
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	$360^\circ$	Secteur de $30^\circ$	Continu
Fréquence de balayage vertical de l'antenne	Sans objet	Eventail horizontal: $20^\circ/\text{s}$ , moitié du temps (60 balayages/min)	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne	Sans objet	Secteur de $10^\circ$	Sans objet
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux extrêmes)	7,5 en moyenne à l'émission, 2,9 en moyenne à la réception	Eventail vertical: 17 dBi Eventail horizontal: 18,5 dBi	En azimut: $\leq +10$ En élévation: $\leq +20$

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Système G6	Système G7	Système G8
Hauteur d'antenne	Niveau du sol	Niveau du sol	30 à 100 m au-dessus du niveau du sol
Largeur de bande de réception, FI à 3 dB (MHz)	Non spécifiée Valeur estimative: 0,8	40	28
Facteur de bruit du récepteur (dB)	5 à 6,5	7,5	3,5
Niveau minimal du signal discernable (dBm)	Non spécifié	-90 ( $S/N = 13,5$ dB)	Non spécifié
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 du chirp (MHz)	Non spécifiée Valeur estimative: 0,8	2	Impulsion brève: néant; Impulsion longue: 50
Largeur de bande d'émission radiofréquence (MHz)	Non spécifiée		Non spécifiée
- 3 dB	Valeur estimative: 0,8	1,1 (impulsion cohérente), 1,8 (NLFM)	Environ 50
- 20 dB	Inconnue	5,8 (impulsion cohérente), 3,15 (NLFM)	Environ 100
Caractéristiques de rejet des brouillages	Non spécifiées	Non spécifiées	Taux de fausse alarme constant; Carte de fouillis Filtre spatial à 2 dimensions

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Système G9	Système G10	G11	G12
Fonction	Météorologique (radiolocalisation)	Météorologique (radiolocalisation)	Météorologique (radiolocalisation)	Radar de poursuite
Type de plate-forme	Sol	Sol	Sol	Sol
Gamme de syntonisation (MHz)	9 300-9 375	9 200-9 500	9 375	8 700-9 500
Modulation	Impulsion	Impulsion	Impulsion	Impulsion à modulation de fréquence linéaire
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	50 kW	250 kW	35 kW par polarisation	150 kW
Largeur d'impulsion ( $\mu$ s) et fréquence de répétition des impulsions	0,1, 0,25 et 1,0 1 000 à 2 000 impulsions/s	0,5, 1,0, 0,8, et 2,0 1 500 à 250 impulsions/s	1 et 2 500	1-15 500-15 000 impulsions/s
Cycle de service maximal	0,002	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Temps de montée/temps de descente de l'impulsion ( $\mu$ s)	0,05	Non spécifié	Non spécifié	0,05
Système de sortie	Klystron ou magnétron	Magnétron	Magnétron	TOP
Type de diagramme de rayonnement de l'antenne	Faisceau crayon	Faisceau crayon	Faisceau crayon	Crayon
Type d'antenne	Réflecteur parabolique avec alimentation Cassegrain	Réflecteur parabolique	Réflecteur parabolique	Réseau plan
Polarisation de l'antenne	Rectiligne (double polarisation)	Rectiligne	Rectiligne (double polarisation)	Rectiligne
Gain d'antenne, faisceau principal (dBi)	46	45	40	38
Ouverture du faisceau d'antenne en élévation (degrés)	0,9	< 1,0	1,5	5
Ouverture du faisceau d'antenne dans le plan azimutal (degrés)	0,9	< 1,0	1,5	5

TABLEAU 3 (*fin*)

Caractéristiques	Système G9	Système G10	G11	G12
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne	0 à 20°/s	0 à 36°/s	6°/s	300°/s
Type de balayage horizontal de l'antenne (continu, aléatoire, sectoriel, etc.)	Volume, volume sectoriel, stationnaire et poursuite	Volume	Volume	Continu
Balayage vertical de l'antenne	0 to 20°	Non spécifié	0° à 90°	Sans objet
Type de balayage vertical de l'antenne	Passage au degré d'élévation suivant après modification de rotation horizontale ou d'élévation à azimuth constant	Passage au degré d'élévation suivant après rotation horizontale	Non spécifié	Aléatoire
Niveau des lobes latéraux de l'antenne (premiers lobes latéraux et lobes latéraux extrêmes)	26 dBi	16 dBi	10 dBi (premiers lobes latéraux) 0 dBi (lobes latéraux extrêmes)	Non spécifié
Hauteur d'antenne	4 m	2 à 30 m	5 à 15 m	Niveau du sol
Largeur de bande du récepteur, FI à 3 dB (MHz)	10, 4 ou 1	Non spécifiée	Non spécifiée	3 MHz
Plancher de bruit du récepteur (dBm)	-110	-114	-113	-105
Affaiblissement de réception (dB)	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
Largeur de bande du chirp (MHz)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	3
Largeur de bande d'émission radiofréquence (MHz) – 3 dB – 20 dB	Non spécifiée 6 à 60, selon la largeur d'impulsion	Non spécifiée Non spécifiée	1 MHz 6 MHz	3 MHz

<sup>1</sup> Des installations radar présentant des caractéristiques analogues à celles exposées dans le Tableau 2 dans le cas des systèmes de radionavigation maritime peuvent également être utilisées, dans les aéroports, comme radars aéronautiques au sol.

## 2.1 Émetteurs

Les radars fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 MHz utilisent diverses modulations: impulsions non modulées, ondes entretenues, impulsions modulées en fréquence (chirp) et impulsions codées en phase. Les étages de sortie des émetteurs peuvent être de type à champs croisés, à section linéaire ou à semi-conducteurs. Dans les nouveaux systèmes radar, la tendance est à l'utilisation de circuits de sortie à faisceaux linéaires à semi-conducteurs, pour des raisons de traitement du signal Doppler. Par ailleurs, les radars dotés de circuits de sortie à semi-conducteurs se caractérisent par des puissances de sortie de crête de l'émetteur relativement basses et des cycles d'impulsions relativement élevés. Dans quatre cas (systèmes A4, S2, S5 et G4), le cycle de service est de 100%, et tous les radars de radiopérage 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 ambiguïtés de fouillis dans les retours. 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 importants aspects 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 8 500-10 500 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, azimuth 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 cycle (moins de 5%) asynchrones par rapport au signal utile.

Le traitement du signal, dans les radars de la nouvelle génération, fait intervenir des impulsions chirp 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 cycle 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.

### 2.3 Antennes

Divers types d'antennes sont utilisés sur les radars fonctionnant dans la bande 8 500-10 500 MHz. Les antennes utilisables dans cette bande 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 radars fonctionnant dans cette bande 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.

D'autres radars utilisés dans cette bande sont plus spécialisés, et leur balayage est limité à un secteur fixe. La plupart des radars utilisés dans cette bande sont dotés de systèmes de balayage mécanique, mais les radars plus récents sont dotés d'antennes-réseau à balayage électronique. 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 montés à bord de navires fonctionnant dans la bande 9 300-9 500 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 4 indique les puissances d'émission et les nombres de systèmes installés pour chacune de ces trois catégories.

TABLEAU 4

#### 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 montés à bord de navires utilisés sur les eaux intérieures et d'embarcations de plaisance fonctionnent dans la bande 9 300-9 500 MHz. La plupart des radars conformes aux spécifications OMI et des radars montés à bord de navires de pêche fonctionnent aussi dans cette bande, bien qu'un nombre important de radars OMI utilisent la bande 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 maritimes<sup>1</sup>. 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 SOLAS (Convention 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.

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

---

<sup>1</sup> 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).

unités sans réflecteur radar avec, dans tous les cas, des distances spécifiées<sup>2</sup>. 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°. 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.

## 5 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 8 500-10 500 MHz ressembleront aux radars décrits dans la présente Recommandation. Par exemple, il est prévu, pour une administration, de mettre en service des radars météorologiques au sol de courte portée dans la bande 9 300-9 500 MHz. 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 émissions à faible cycle – cadrent avec ceux des radars de radiorepérage actuellement exploités dans la bande 8 500-10 500 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 sur une grande largeur de bande allant au moins jusqu'aux limites de bande utilisées 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 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 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 cycles à l'émission seraient sensiblement plus longs que ceux des émetteurs radars de type tube actuellement utilisés.

---

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

## 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 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.

Pour les radars météorologiques, une augmentation d'environ 0,5 dB se traduirait par une dégradation de 5% de la portée de détection et une dégradation de 11% de la couverture de zone. Une telle augmentation correspond à un rapport  $(I + N)/N$  d'environ -10 dB. Toutefois, un complément d'étude est nécessaire sur cette question.

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 plate-forme 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 plate-forme 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 tolérable. 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 cycle, en particulier celles provenant d'un petit nombre de sources isolées. Les techniques de suppression des impulsions de brouillage à faible cycle 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 de fouillis 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 sur la sécurité de la vie en mer (SOLAS) 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 S et X. Seuls les essais dans la bande X (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 5 et 6.

TABLEAU 5  
Paramètres du radar D

Paramètre	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 (FRI) (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 6  
Paramètres du radar E

Paramètre	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
FRI (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	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.

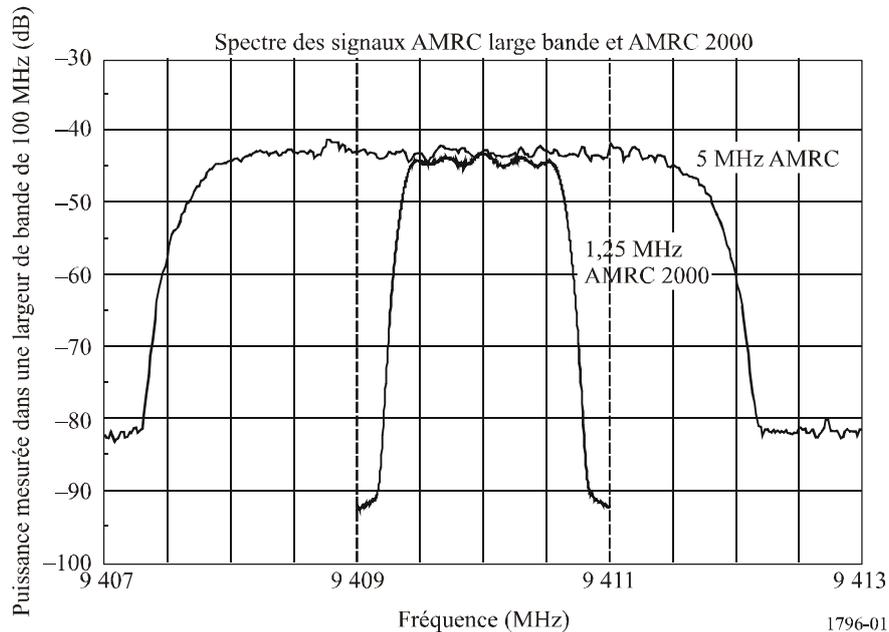
## 1.3 Signaux brouilleurs et cibles

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  $\mu$ s et 2  $\mu$ s et des FRI équivalant à des cycles de service 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. 1.

FIGURE 1

### Signaux AMRC génériques



## 1.4 Génération de cibles non fluctuantes

On a utilisé des générateurs de signaux arbitraires (AWG, *arbitrary waveform signal generators*), des générateurs de signaux RF, un montage 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. 2: 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. 2, 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. 2 représente un total de 500 cibles recherchées.

La Fig. 2 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.

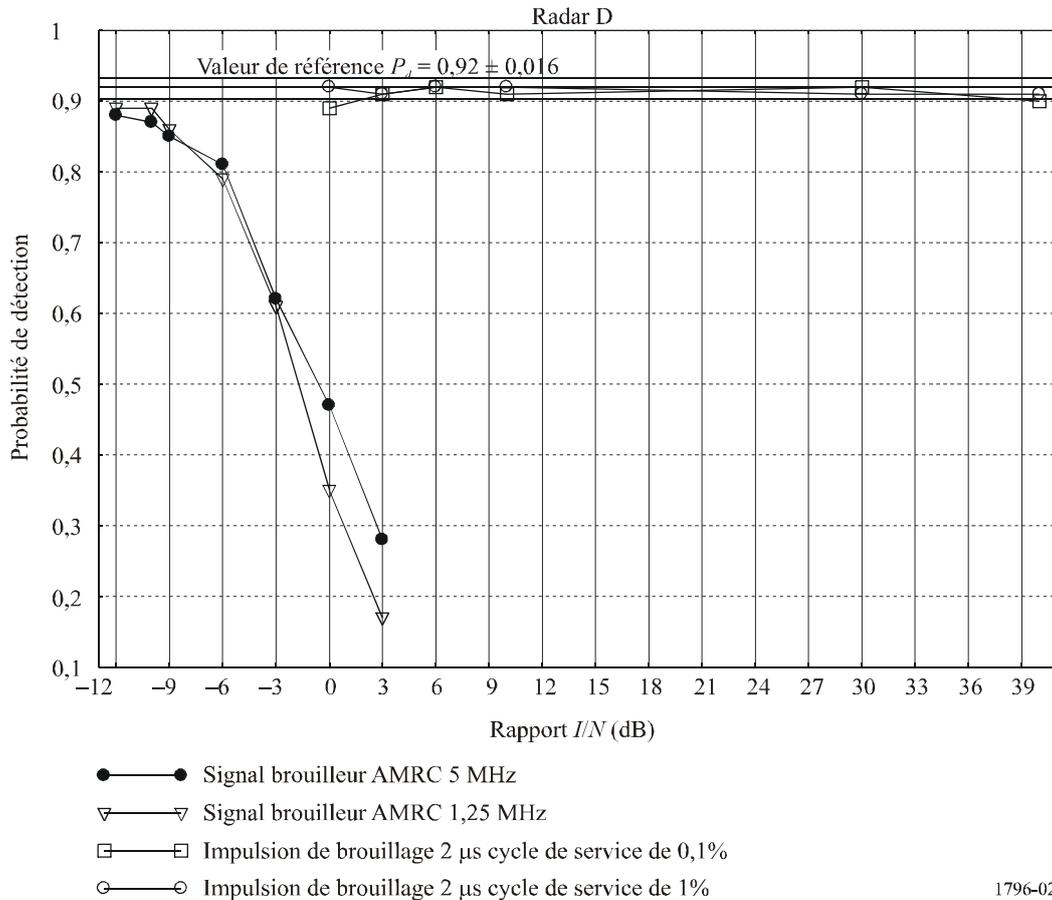
### 1.5.2 Radar E

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 7.

Les données du Tableau 7 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  $\mu$ s commandées par porte, ayant des cycles 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.

FIGURE 2

Courbes représentant  $P_d$  pour le radar D

1796-02

TABLEAU 7

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

## 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 8. 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 8  
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 cycle 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 intégrés. 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 cycle élevé 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 9 300-9 500 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 9 300-9 500 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 8 étaient basés sur des cibles non fluctuantes. Si les essais avaient été effectués avec des cibles fluctuantes les résultats auraient, vraisemblablement, été différents.

---