

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R M.1460-1**  
(03/2006)

**Caractéristiques techniques et  
d'exploitation et critères de protection des  
radars de radiorepérage fonctionnant dans  
la bande 2 900-3 100 MHz**

**Série M**  
**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur  
y compris les services par satellite associés**



## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

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

Séries	Titre
<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.1460-1\*,\*\*

**Caractéristiques techniques et d'exploitation et critères de protection des radars de radiorepérage fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz**

(Questions UIT-R 226/5 et UIT-R 216/5)

(2000-2006)

**Champ d'application**

La présente Recommandation fournit les caractéristiques techniques et opérationnelles ainsi que les critères de protection des systèmes de radiorepérage fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz, qui est attribuée au service de radiorepérage à titre primaire. Elle a été établie dans l'intention de prendre en charge les études de partage conjointement avec la Recommandation UIT-R M.1461, qui traite des procédures d'analyse permettant de déterminer la compatibilité entre les radars fonctionnant dans le service de radiorepérage et ceux fonctionnant dans d'autres services.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les caractéristiques d'antenne, de propagation du signal, de détection des cibles et de largeur de bande nécessaire, qui permettent aux radars de remplir leurs fonctions, sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars de radiorepérage sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande;
- c) que l'UIT-R envisage la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes ou services dans des bandes situées entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars du service de radiorepérage;
- d) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer, si nécessaire, la possibilité de mettre en œuvre de nouveaux types de systèmes dans des 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 2 900-3 100 MHz sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.824;
- b) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars météorologiques et de radionavigation aéronautique, fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz devraient être analogues à celles des radars fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz, exposées dans la Recommandation UIT-R M.1464;
- c) que certains résultats d'essai illustrant la vulnérabilité des radars maritimes figurent dans le Rapport UIT-R M.2050. Des extraits de ces résultats ont été reproduits dans l'Annexe 3,

---

\* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de l'Association internationale de signalisation maritime (AISM), de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

\*\* La Commission d'études 5 des Radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

*reconnaisant*

- 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 des types particuliers de signaux brouilleurs tels que ceux qui sont décrits au § 3 de l'Annexe 3;
- c) que, pour appliquer les critères de protection, il peut être nécessaire de prendre en considération la nature statistique des critères ainsi que d'autres éléments de la méthode permettant de réaliser des études de compatibilité (par exemple, le balayage d'antenne et le déplacement de l'émetteur ainsi que l'affaiblissement sur le trajet de propagation). Un examen plus approfondi de ces considérations statistiques peut faire l'objet de futures révisions de la présente Recommandation, le cas échéant,

*recommande*

- 1 que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars de radiorepérage décrits à l'Annexe 1 soient considérées comme représentatives des systèmes fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz;
- 2 que la présente Recommandation ainsi que la Recommandation UIT-R M.1461 servent de lignes directrices pour l'analyse de la compatibilité entre radars de radiorepérage et systèmes d'autres services;
- 3 que le rapport entre la puissance du signal brouilleur et le niveau de puissance de bruit du récepteur du radar (rapport  $I/N$ ) de  $-6$  dB soit utilisé comme niveau de protection exigé pour les radars de radiorepérage dans la bande 2 900-3 100 MHz, même si plusieurs brouilleurs sont présents. L'annexe 2 contient des informations supplémentaires à ce sujet;
- 4 que les résultats des essais de vulnérabilité aux brouillages réalisés sur des radars de radionavigation à bord de navires fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz, qui figurent dans l'Annexe 3, soient utilisés pour l'évaluation des brouillages causés aux radars de radionavigation à bord de navires, sachant que ces résultats concernent des cibles non fluctuantes et que les fluctuations de la surface équivalente au radar<sup>1</sup> devraient être prises en considération (voir également le Rapport UIT-R M.2050).

## Annexe 1

### Caractéristiques techniques et d'exploitation des radars de radiorepérage dans la bande 2 900-3 100 MHz

#### 1 Introduction

Un grand nombre de radars transportables et à bord de navires fonctionnent dans la bande 2 900-3 100 MHz. Les § 2 à 4 traitent en détail des radars de radiolocalisation à bord de navires. Les § 5 et 6 présentent brièvement les radars de radionavigation et le § 7 traite des radars météorologiques.

---

<sup>1</sup> La question des fluctuations de la surface équivalente au radar est en cours d'étude à l'UIT-R.

## 2 Caractéristiques techniques des radars de radiolocalisation autres que les radars météorologiques

Le Tableau 1 présente les caractéristiques de trois radars de radiolocalisation de navire représentatifs et le Tableau 2 celles de trois radars de radiolocalisation au sol représentatifs.

Tous les systèmes de radiolocalisation identifiés sont des radars de surveillance très puissants. La plupart des radars de radiolocalisation fonctionnant dans la bande en question sont principalement utilisés pour la détection d'objets volants. Ils servent pour mesurer l'altitude, la distance et la trajectoire des cibles. Certaines cibles sont petites et d'autres sont situées à des distances de 300 milles nautiques; ces radars de radiolocalisation doivent donc être dotés d'une grande sensibilité et d'une forte capacité de suppression de toutes formes d'échos de fouillis radar d'origine maritime, terrestre ou atmosphérique (précipitations). Il n'est pas nécessaire que les émissions des radars de radiolocalisation fonctionnant dans la bande en question excitent les balises-radar.

En grande partie à cause de ces exigences, les radars de radiolocalisation utilisant la bande 2 900-3 100 MHz possèdent les caractéristiques générales suivantes:

- leur puissance de crête et moyenne d'émission est élevée;
- ils utilisent en général des émetteurs à oscillateurs maîtres avec amplificateur de puissance et non des oscillateurs de puissance. Ils sont normalement réglables et certains d'entre eux sont agiles en fréquence et utilisent la modulation MF linéaire (chirp) ou intra-impulsions codée en phase;
- certains sont dotés de faisceaux multiples ou orientables en élévation à commande électronique;
- certains intègrent des fonctions de gestion de puissance; en d'autres termes, ils ont la capacité de réduire la puissance de l'émetteur dans certains faisceaux ou pour certaines fonctions tout en permettant à d'autres de fonctionner à pleine puissance;
- ils emploient communément des moyens de réception et de traitement variés, comme des antennes de réception avec annulation des signaux reçus par les lobes latéraux, le traitement de trains de bits à porteuse cohérente pour supprimer les retours de fouillis radar au moyen de l'indication d'une cible en mouvement (MTI, *moving-target indication*), des techniques de taux de fausse alarme constant (CFAR, *constant-false-alarm-rate*), et, dans certains cas, la sélection de fréquences d'exploitation adaptées en fonction du brouillage détecté sur diverses fréquences.

Tout ou partie des radars de radiolocalisation dont les caractéristiques figurent dans les Tableaux 1 et 2 possèdent ces propriétés. Toutefois, tous les attributs dont les futurs radars devraient être dotés ne sont pas représentés.

TABLEAU 1

### Caractéristiques des radars de radiolocalisation de navire dans la bande 2 900-3 100 MHz

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
Plage de syntonisation totale (MHz)	2 910-3 100,5	Plage nominale: 2 900-3 100	2 910-3 100,5
Options de syntonisation et relation fréquence/ élévation	Déterministe: Fréquence élevée $\Leftrightarrow$ petit angle d'élévation		
Fréquence à l'horizon (MHz)	Mer calme: 3 048-3 051	Mer calme: 3 055	Mer calme: 3 051

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
Modes de couverture/ performance	Longue portée Longue portée/élévation limitée Courte portée Courte portée/élévation limitée (chacun avec des faisceaux/ impulsions en mode normal, traitement vidéo par corrélations ou MTI)	Normal ( $\leq 45^\circ$ en élévation) $5^\circ$ Mode «burn-thru»: (1 faisceau fixe de $1,6^\circ$ ) Mode «chirp-thru» (1 faisceau avec forme d'onde modulée linéairement en fréquence) MTI de longue portée, 3 impulsions; $5^\circ$ ou $45^\circ$ MTI de courte portée, 4 impulsions; $5^\circ$ ou $45^\circ$ Passif	Longue portée ( $\leq 12,8^\circ$ en élévation) Longue portée/faible élévation ( $\leq 4,8^\circ$ ) Angle élevé ( $\leq 41,6^\circ$ ) Elévation limitée ( $\leq 12,8^\circ$ ) Débit de données élevé ( $\leq 41,6^\circ$ ) MTI ( $\leq 36,9^\circ$ )
Type de forme d'onde à impulsions de l'émetteur	Non modulé	Mode normal, $5^\circ$ et MTI: 9 sous-impulsions de fréquences échelonnées (1,5 MHz entre sous-impulsions adjacentes) Mode «burn-thru»: non modulé Mode «chirp-thru»: MF linéaire	Non modulé
Dispositif(s) de sortie RF de l'émetteur	Klystron	Amplificateur à champs croisés (amplitron)	Klystron
Filtre de l'émetteur		Passe-haut; $f_{CO} \geq 2\ 840$ MHz	
Puissance de crête maximale de l'émetteur	0,9-1 MW à l'horizon, à $35^\circ$	2,2 MW à l'horizon, à $5^\circ$	1,0-1,5 MW à l'horizon, à $35^\circ$
Puissances de crête de l'émetteur à des élévations plus élevées et/ou modes de portée réduite	La puissance diminue lentement de 1 MW environ, à $35^\circ$ à 300 kW, à $41,6^\circ$	600 kW à $5,5^\circ$ - $21^\circ$ ; 60 kW au-dessus de $21^\circ$ et à l'horizon dans la plupart des impulsions MTI	La puissance diminue lentement de 1 MW environ à $35^\circ$ à 300 kW à $41,6^\circ$
Largeur d'impulsion/de sous-impulsion de l'émetteur ( $\mu$ s)	Premières unités: 4 et 3 ou 2 Dernières unités: 10; 4,6 et 2,5	Modes normal, $5^\circ$ et MTI: 27 (9 sous-impulsions contiguës de 3 $\mu$ s) Modes «burn-thru» et «chirp-thru»: 27	Longue portée et longue portée/faible élévation: 10 Angle d'élévation élevé et élévation limitée: 4,6 Débit de données élevé et MTI: 2,5
Rapport de compression d'impulsion	Néant	Modes normal, MTI, et «burn-thru»: néant Mode «chirp-thru»: 9	Néant
Largeur de bande de l'émetteur à 3 dB	Largeur d'impulsion de 10 $\mu$ s: 100 kHz environ Largeur d'impulsion de 4,6 $\mu$ s: 225 kHz environ Largeur d'impulsion de 2,5 $\mu$ s: 700 kHz environ	Mode normal et MTI: 300 kHz/sous-impulsions Mode «chirp-thru»: 300 kHz Mode «burn-thru»: 34 kHz	Largeur d'impulsion de 10 $\mu$ s: 100 kHz environ Largeur d'impulsion de 4,6 $\mu$ s: 225 kHz environ Largeur d'impulsion de 2,5 $\mu$ s: 700 kHz environ
Largeur de bande de l'émetteur à 20 dB		Modes normal et MTI: 2 MHz/ sous-impulsions Mode «chirp-thru»: 700 kHz Mode «burn-thru»: 240 kHz	

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
PRI ( $\mu$ s) <sup>(1)</sup>	Variable: entre 2 050 et 500 (2 050 à l'horizon) Fixe: 2 116	Mode normal: variable entre 2 830 et 732 (2 830 à l'horizon) Mode «burn-thru», Mode «chirp-thru» et faible élévation: fixe à 2 830, 4 850 ou 6 180	Variable: entre 3 106 et 426 (3 106 à l'horizon)
PRI moyen des impulsions à pleine puissance contenant des faisceaux au niveau de l'horizon ( $\mu$ s)		Mode normal: 5 120 Mode 5°: 4 977 MTI de 3 impulsions à longue portée: 5°: 4 357 45°: 6 760 MTI de 4 impulsions à courte portée: 5°: 10 534 45°: 19 695 (1 ou 2 sous-impulsions/ impulsions atteignent l'horizon)	Longue portée: 7 491 Longue portée/faible élévation: 6 190 Angle élevé: 10 972 Élévation limitée: 7 383 Débit de données élevé: 14 020 MTI: 9 886 ou 10 903 (sur des balayages d'azimut alternés)
Polarisation	Horizontale		
Gain d'antenne (dBi)	Premières unités: 33,5 Dernières unités: 37	38,5	37
Ouverture de faisceau d'antenne (degrés)	Azimut: 1,9 Elévation: 2,25	Azimut: 1,5 Elévation: 1,6	Azimut: 1,9 Elévation: 2,25
Décalage de fréquence pour une variation d'élévation de 1/2 BW	2,25 MHz (0,5°/MHz)	4,1 MHz (0,39°/MHz)	2,25 MHz (0,5°/MHz)
Suppression des premiers lobes latéraux (dB)	Premières unités: Azimut: 16 Elévation: 20 Dernières unités: Azimut: 25 Elévation: 25	Azimut: 25 Elévation: 15	Azimut: 25 Elévation: 25
Suppression des lobes latéraux lointains	Souvent limitée par la diffusion dans la structure		
Type de balayage en azimut de l'antenne (degrés)	360 continu		
Intervalle de temps entre deux passages successifs de l'antenne dans une même direction (s)	Premières unités: Mode normal: 4 Mode MTI: 5,2 Mode de traitement vidéo par corrélations: 12,5 Dernières unités: 8, 6, 4	4 et 8	8, 6, et 4
Balayage en élévation de l'antenne (degrés)	Premières unités: 0-48 Dernières unités: 0,3-41,6	0-45	0,3-41,6
Formation de faisceaux d'élévation distincts	Réception séquentielle via un canal unique	Réception simultanée via 9 canaux parallèles plus variation séquentielle d'impulsions à impulsions	Réception séquentielle via un canal unique
Largeur de bande RF du récepteur <sup>(2)</sup>	200 MHz (estimée)	$\geq$ 200 MHz	200 MHz
Largeur de bande FI du récepteur <sup>(2)</sup>	500 kHz	350 kHz par canal 12 MHz sur l'ensemble	Longue portée: 80 kHz Angle élevé: 174 kHz Débit de données élevé et MTI: 348 kHz

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
Gain de traitement relatif au bruit (dB)		Mode «chirp»: 9	
Sensibilité du signal utile ou niveau du bruit (dBm) (au niveau du port de l'antenne)	Niveau du bruit: -109		
Fonctions de suppression du brouillage	Traitement vidéo par corrélations MTI Dernières unités: suppression des lobes latéraux	STC FTC CAG INT CSG WPB Suppression des lobes latéraux Suppression d'un seul faisceau Corrélation d'impulsion à impulsion Ecrêtement de bruit («Dicke fix»)	Suppression des lobes latéraux Vidéo logarithmique Récepteur «Dicke Fix» Stroboscope détecteur de brouillage (Jam strobe) <sup>(3)</sup>
Années d'exploitation	1960 – ... (remplacé par les radars N° 2 et N° 3)	1965 – aujourd'hui	1966 – aujourd'hui

(1) Dans la plupart des modes de radars N°s 1, 2 et 3, l'intervalle interimpulsions et la puissance de crête diminuent quand le faisceau balaye vers le haut.

(2) Les niveaux de saturation RF et FI du récepteur sont au niveau du port de l'antenne.

(3) Le stroboscope détecteur de brouillage affiche une ligne radiale visible identifiant la direction des sources de certaines formes de brouillage.

TABLEAU 2

### Caractéristiques des radars de radiolocalisation au sol dans la bande 2 900-3 100 MHz

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
Plage de syntonisation totale (MHz)	2 905-3 080	2 901,5-3 098,4	2 900-3 100
Options de syntonisation et relation fréquence/ élévation	Déterministe: Basse fréquence $\Leftrightarrow$ faible angle d'élévation 0,1°-0,15°/MHz	a) fréquence fixe b) agilité en fréquence d'impulsion en impulsion ( $\leq 16$ fréquences): – déterminée par l'environnement – aléatoire c) MTI (rafales de 12 impulsions): agilité en fréquence (déterminée par l'environnement ou aléatoire)	a) fréquence fixe b) agilité en fréquence d'impulsion en impulsion (16 fréquences parmi 4 groupes de 16 chacun): – déterminée par l'environnement – aléatoire c) MTI (rafales de 4 impulsions): agilité en fréquence (déterminée par l'environnement ou aléatoire)
Fréquence à l'horizon (MHz)	2 924-2 935	Indépendante de l'angle d'élévation	

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
Modes de couverture/ performance	Mode normal (0°-18°)  Mode d'impulsion codée (compression d'impulsion à 0°-2,24°, normale au-dessus de 2,24°) MTI ( $\leq 18^\circ$ ) Mode «Burn-thru» (un faisceau d'une élévation de 0,8° sélectionné)	Compression d'impulsion (0°-20°) MTI avec compression d'impulsion (0°-20°)	Portée nominale de 240 milles nautiques Compression d'impulsion (0°-20°) MTI avec compression d'impulsion (0°-20°)
Type de forme d'onde à impulsions de l'émetteur	Modes normal et MTI: sous- impulsions de fréquences échelonnées (balayage fréquence/ élévation à l'intérieur de l'impulsion) Les impulsions de puissance élevée à faible angle d'élévation ont 6 sous-impulsions; les impulsions à angle d'élévation élevé et les impulsions MTI à faible puissance ont 9 sous-impulsions. Les deux types d'impulsion ont un intervalle de 2,8 MHz entre les sous-impulsions adjacentes Mode d'impulsion codée: trois sous-impulsions contiguës de 9,9 $\mu$ s, composée chacune de 13 bribes codées Mode «burn-thru»: non modulé	Codage en bi-phase (Barker 13)	
Dispositif(s) de sortie RF de l'émetteur	Amplificateur à champs croisés	Twystron	
Filtre de l'émetteur	Passe-haut		Aucun 2ème harmonique supprimée à 60 dB 3ème harmonique supprimée à 50 dB
Puissance de crête maximum de l'émetteur	2,2 MW pour un angle d'élévation compris entre 0° et 7,2° sauf 60 kW dans des faisceaux MTI pour un angle d'élévation compris entre 0° et 3°	2,8 MW	3,0 MW
Puissances de crête de l'émetteur pour des angles d'élévation élevés et/ou des portées réduites	665 kW pour un angle d'élévation compris entre 7,2° et 12,6° 60 kW pour un angle d'élévation de 12,6°	La puissance de l'émetteur est répartie entre plusieurs faisceaux de manière à former approximativement un diagramme de type cosec <sup>2</sup>	La puissance de l'émetteur est répartie entre plusieurs fais- ceaux avec un angle d'élévation compris entre 0° et 20°

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
Largeur d'impulsion/de sous-impulsion de l'émetteur	Mode normal: 6 sous-impulsions contiguës de 5 µs pour un faible angle d'élévation et une puissance élevée; 9 sous-impulsions contiguës de 3 µs pour un angle d'élévation élevé MTI: 9 sous impulsions contiguës de 3,3 µs Mode d'impulsion codée: 3 impulsions contiguës de 9,9 µs, composées chacune de 13 sous-impulsions (bribes de 0,76 µs)	6,5 µs	Impulsion codée de 6,5 µs
Rapport de compression d'impulsion	Impulsion codée: 13	13	
Largeur de bande de l'émetteur à 3 dB	Modes normal et MTI: 350 kHz par sous-impulsion Mode d'impulsion codée: 1,3 MHz pour des faisceaux avec compression d'impulsion	2 MHz environ	1,4 MHz
Largeur de bande de l'émetteur à 20 dB		9,5 MHz	2,7 MHz (5,9 MHz à 40 dB, 40 MHz à 60 dB)
PRI <sup>(1)</sup>	Variable: entre 3 772 µs à l'horizon et 1 090 µs à 18°, sauf 1 090 µs pour MTI	Fixe: 4 082, 4 000 ou 3 876 µs Décalé de façon déterministe: 3 597→3 788→4 255→4 405→3 876 →4 082 µs→répétition	Les PRF fixes comprennent 245, 250 et 258 impulsions/s (4,082; 4,0 ou 3,876 ms) La séquence à intervalle variable d'impulsion à impulsion est généralement de 4,08→3,59→3,79→4,25→4,40→3,87 ms→répétition Deux autres schémas de variation d'intervalle inter-impulsions peuvent être utilisés
PRI moyen des impulsions de pleine puissance contenant des faisceaux horizontaux	Mode normal: 9 670 µs environ (1 ou 2 sous-impulsions/impulsion atteignent l'horizon)	Toutes les impulsions couvrent 0°-20°	272,5 impulsions/s
Polarisation	Horizontale	Verticale	Horizontale
Gain d'antenne (dBi)	41	Emetteur: 34,5 Récepteur: 38 (La puissance de l'émetteur est répartie entre 13 faisceaux; les retours sont répartis dans 6 canaux RF seulement.)	Emetteur: 35 (l'énergie de l'émetteur se répartit entre 0,5° et 20°) Récepteur: 36,7; 35,7; 35,3; 35,5; 32,1 et 31,9 du faisceau bas au faisceau haut
Ouverture de faisceau d'antenne (degrés)	Azimut: 2,15 Élévation: 0,84	Azimut: 1,1 Élévation: 20 de type cosec <sup>2</sup>	Azimut: 1,6 Élévation: 20 en émission; 2,3 à 6,0 en réception
Décalage de fréquence pour une variation d'élévation de 1/2 BW			Indépendant de la fréquence
Suppression des premiers lobes latéraux (dB)	Azimut: 25 Élévation: 25	18,5 (supposé en azimut)	Emetteur: 20 dans le plan vertical Récepteur: au moins 35 en azimut; au moins 49 en élévation

TABLEAU 2 (fin)

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
Suppression des lobes latéraux lointains			Lobes latéraux ultra-bas
Type de balayage en azimut de l'antenne (degrés)	360 en continu		
Intervalle de temps entre deux passages successifs de l'antenne dans une même direction (s)	10		9,4 (6,4 rpm)
Balayage en élévation de l'antenne (degrés)	entre -1 et 18	Pas de balayage. Le faisceau de l'émetteur couvre un angle d'élévation entre 0° et 20°	
Formation de faisceaux d'élévation distincts	Réception séquentielle via un canal unique	Le faisceau à l'émission de 20° est subdivisé en 6 faisceaux à la réception et fonctionne simultanément dans 6 canaux parallèles	6 faisceaux empilés à la réception fonctionnent simultanément dans 6 canaux parallèles
Largeur de bande RF du récepteur (MHz)	200	> 200 (utilisation d'un mélangeur avec affaiblissement sur la fréquence image dans chaque canal)	
Niveaux de saturation RF et FI du récepteur au niveau du port de l'antenne		-35 dBm	Gamme dynamique: 90 dB, en utilisant jusqu'à 46,5 dB du STC
Largeur de bande FI du récepteur	Modes normal et MTI: 350 kHz Mode d'impulsion codée: 1,3 MHz	1,6 MHz	1,1 MHz à 3 dB 3,4 MHz à 20 dB 12,1 MHz à 60 dB
Gain de traitement relatif au bruit	Mode normal/non MTI: 3 dB (intégration vidéo, 2 impulsions) Mode d'impulsion codée: 11 dB	10 dB (compression d'impulsion) + 9 dB (intégration d'impulsion) = 19 dB	11 dB (compression d'impulsion) Utilisation de MTI avec 4 impulsions
Sensibilité du signal utile ou niveau du bruit (dBm) (au niveau du port de l'antenne)	Mode normal: niveau du bruit: -116 Mode d'impulsion codée: niveau du bruit: -110	-105	
Fonctions de suppression du brouillage	Intégration vidéo, 2 impulsions FTC logarithmique Mode d'impulsion codée (compression d'impulsion) Corrélation d'impulsion en impulsion Décteur de cibles fixes	Agilité en fréquence Compression d'impulsion; suppression des lobes latéraux PRI décalés avec intégration après détection CFAR à limitation stricte (sans MTI) ou STC (avec MTI) Canal de contrôle de signal brut	Lobes latéraux d'antenne à réception extrêmement faible Autres fonctions similaires à celles du radar N° 5
Années d'exploitation	1975 – aujourd'hui	1975 – aujourd'hui	Fin des années 80 – aujourd'hui

(1) Dans la plupart des modes du radar N° 4, l'intervalle interimpulsions et la puissance de crête diminuent quand le faisceau balaye vers le haut.

Dans les Tableaux 1 et 2, les abréviations et termes suivants sont utilisés:

- ⇔: correspondance (entre la fréquence porteuse et l'angle d'élévation)
- BW: largeur de bande ou ouverture de faisceau, selon le cas
- «Burn-thru»: mode dans lequel la puissance est concentrée dans un secteur étroit en élévation pour faciliter la détection de cibles dans des conditions difficiles
- CAG: commande automatique de gain

«Chirp-thru»:	type de mode «burn-thru» dans lequel la compression d'impulsion est utilisée pour la réduction des échos de fouillis radar
CSG:	génération à effet stroboscopique ( <i>clean strobe generation</i> ). Il s'agit d'une technique servant à détecter des signaux provenant de sources actives à l'aide du radar fonctionnant en tant que récepteur uniquement. Elle peut être utilisée avec ou sans la suppression des lobes latéraux
«Dicke fix»:	limitation stricte d'un signal composite reçu (écho radar plus brouillage) dans une largeur de bande beaucoup plus importante que celle du signal radar utile, suivie par le filtrage pour réduire la largeur de bande. Ce dispositif est utilisé pour lutter contre le brouillage à large bande
$f_{co}$ :	fréquence de coupure du filtre
FTC:	découpage des échos longs ( <i>fast time constant</i> )
INT:	intégration (vidéo) d'impulsions multiples non cohérentes
PRF:	fréquence de répétition des impulsions ( <i>pulse-repetition frequency</i> )
PRI:	intervalle de répétition des impulsions ( <i>pulse-repetition interval</i> )
PW:	largeur d'impulsion ( <i>pulse width</i> )
STC:	gain variable dans le temps ( <i>sensitivity time control</i> )
Stroboscope détecteur de brouillage ( <i>jam strobe</i> ):	technique similaire au CSG
Traitement vidéo par corrélations:	traitement vidéo par corrélations (corrélation d'impulsion en impulsion)
WPB:	suppression d'impulsions larges ( <i>wide-pulse blanking</i> ).

Toutes les valeurs des angles exprimés en degrés figurant dans les Tableaux 1 et 2 correspondent à des angles d'élévation, sauf indication contraire.

## 2.1 Caractéristiques spécifiques

Les radars N° 1, N° 2, N° 3 et N° 4 ont un balayage mécanique en azimut mais un balayage fréquentiel en élévation. Parmi eux, les radars N° 2 et N° 4 exercent normalement un balayage pas à pas en élévation à l'intérieur de chaque impulsion, cette dernière étant souvent divisée en un nombre pouvant atteindre 9 sous-impulsions contiguës avec des pas de fréquence porteuse entre chaque sous-impulsion. Les radars N° 2 et N° 4 contiennent également 9 canaux récepteur/processeur parallèles (outre un canal de suppression des lobes latéraux). Chaque canal du récepteur traite les échos provenant d'un certain faisceau en élévation particulier correspondant à une sous-impulsion différente, à l'intérieur du même intervalle de répétition des impulsions. Ainsi, ces radars couvrent environ 5° (radar N° 2) ou environ 3° (radar N° 4) en élévation à l'intérieur d'un seul intervalle de répétition des impulsions ou pendant la durée de rotation d'un écho radar, avec une résolution d'environ 1,6° (radar N° 2) ou 0,84° (radar N° 4). Ces radars couvrent des secteurs différents de 5° (radar N° 2) ou 3° (radar N° 4) en élévation pendant des intervalles interimpulsions différents.

Les radars N° 1 et N° 3 émettent sur un seul faisceau dans chaque impulsion et contiennent un seul canal de récepteur (outre un canal de suppression des lobes latéraux). Ils couvrent un secteur en élévation différent pendant chaque intervalle de répétition des impulsions.

La portée nominale requise, qui détermine l'intervalle de répétition des impulsions, est généralement grande pour de petits angles d'élévation mais réduite pour des élévations plus élevées car, dans ce cas, les grandes portées correspondent, à des altitudes au-dessus de l'atmosphère. Aux

angles d'élévation les plus élevés, la puissance de crête de l'émetteur peut être réduite parce que les courtes portées exigent une puissance moyenne plus faible pour détecter des cibles et parce que le rapport cyclique de l'émission est augmenté en raison d'intervalles de répétition des impulsions plus courts. En ce qui concerne le radar N° 2, la réduction de la puissance de crête de l'émetteur est réalisée par la mise hors tension des dispositifs amplificateurs de puissance finals et intermédiaires, ce qui permet de réduire les chocs haute tension et d'obtenir des spectres d'émission plus propres. Concernant les radars N° 1 et N° 3, la puissance de l'émetteur reste élevée aux angles d'élévation jusqu'à 35° environ et diminue aux angles plus élevés, conséquence normale de la caractéristique gain/fréquence du dernier dispositif amplificateur de puissance.

Les séquences impulsion/fréquence des radars N° 2 et N° 4 sont très différentes et complexes. Par exemple, dans le mode normal du radar N° 2, chaque balayage en élévation complet contient 18 impulsions d'émission comprenant chacune 9 sous-impulsions échelonnées en fréquence. La fréquence de base de chacune des 18 impulsions est différente de celle des autres afin de contribuer à l'effet de balayage en élévation, sauf pour trois impulsions dont les fréquences sont identiques à celles de trois autres. Dans les modes MTI à 5°, des groupes de 3 ou 4 impulsions identiques séparées par des intervalles interimpulsions constants sont rayonnés à des angles d'élévation pouvant atteindre 5° et sont intercalés entre 15 impulsions (non MTI) non périodiques rayonnées à tous les angles d'élévation jusqu'à 45° pour chaque balayage d'élévation complet. Dans la plupart des modes, les faisceaux associés aux sous-impulsions de chaque impulsion chevauchent les faisceaux en élévation adjacents. Les faisceaux associés aux sous-impulsions des 18 impulsions ou plus qui constituent un balayage en élévation se chevauchent également en azimut parce que la structure de l'antenne pivote selon un angle inférieur à celui de l'ouverture du faisceau en azimut (1,5°) pendant les phases d'émission et de réception de tous les faisceaux. Aussi l'écho en provenance de la cible issu de n'importe quelle sous-impulsion et l'écho issu de plusieurs autres sous-impulsions se chevauchent-ils à la fois en azimut et en élévation. Les corrélations faisceau à faisceau et impulsion à impulsion utilisées pour ces échos qui se chevauchent contribuent à abaisser le taux de fausse alarme relatif au bruit et à identifier les échos de cibles correctes dans le brouillage par impulsions asynchrones.

Les Tableaux indiquent les valeurs calculées des intervalles moyens entre les impulsions complètes émises par les radars N° 2, N° 3 et N° 4 qui sont rayonnés à l'horizon (radar N° 3) ou qui contiennent au moins une sous-impulsion au niveau de l'horizon (radars N° 2 et N° 4) d'une durée de 3 ou de 3,3 µs. Les calculs rendent compte du fait que, dans certains modes, les opérations MTI de courte portée sont intercalées avec les opérations non MTI de longue portée. A n'importe quelle fréquence de base, une seule sous-impulsion est susceptible de se trouver dans la bande passante d'autres systèmes, la fréquence étant échelonnée entre les sous-impulsions. En tous cas, il est probable que 2 sous-impulsions contiguës produisent presque le même effet sur un autre récepteur qu'une seule sous-impulsion.

Les radars N° 5 et N° 6 ne balayent pas en fréquence. Cependant, ils sont formés de plusieurs faisceaux de réception simultanés et possèdent 6 canaux de réception parallèles (simultanés), couvrant chacun une région distincte en élévation. Puisqu'ils ne balayent pas en fréquence, ils peuvent couvrir n'importe quelle région de l'espace sur n'importe laquelle d'un grand nombre de fréquences de la plage de fonctionnement des 200 MHz au moyen de l'agilité en fréquence. Dans les modes non MTI, les faisceaux peuvent passer d'une fréquence à une autre avant chaque impulsion. Dans les modes MTI, ils peuvent passer à une nouvelle fréquence toutes les 12 impulsions (dans le cas du radar N° 5) ou toutes les 4 impulsions (dans le cas du radar N° 6). Cela est facilité par une fonction de contrôle incorporée, au moyen de laquelle ces faisceaux mesurent (par échantillonnage) l'occupation du signal dans l'environnement à chaque fréquence qu'ils parcourent et enregistrent cette opération dans une mémoire. Un algorithme qui accède à cette mémoire permet aux faisceaux de choisir des fréquences peu utilisées pour de futures transmissions.

La forme spécifique de l'onde à compression d'impulsions utilisée par le radar N° 4 n'a pas pu être déterminée avec certitude. Cependant, compte tenu du fait que le rapport de compression a été défini comme étant de 13 et que l'onde est codée, on peut raisonnablement supposer que l'onde utilise un code Barker biphasé. Il n'existe qu'un seul code de ce type de longueur 13.

La fonction de détection ou de suppression de cibles fixes du radar N° 4, connue également sous le nom de «clutter map» (carte du fouillis), est un algorithme post-traitement qui calcule le nombre de détections qui se sont produites à l'intérieur de chacune des nombreuses cellules d'azimut/de portée/d'élévation ces derniers temps. Ce calcul est incrémenté à chaque détection; il est décrémenté, selon des règles choisies de façon judicieuse, quand la même cellule est survolée de nouveau mais qu'aucune détection ne se produit. Si le nombre de détections excède certaines valeurs de seuil, les cibles correspondantes ne sont pas affichées à l'opérateur ou elles sont utilisées à d'autres fins, les détections pouvant dans ce cas être causées par du fouillis stationnaire.

En raison de la multitude des modes de fonctionnement, il est difficile de préciser le niveau de sensibilité de détection de ces radars quantitativement et sans équivoque. On pourrait estimer par des calculs la sensibilité de détection à partir de la valeur du bruit. On estime que cette dernière est d'environ 4 ou 5 dB pour les radars contemporains et qu'elle est bien plus élevée pour les radars plus anciens, comme ceux du type 1. En ce qui concerne le radar N° 6, la valeur de sa sensibilité de détection est indiquée.

Les émetteurs radar utilisant des dispositifs à champs croisés, comme ceux des radars N° 2 et N° 4, émettent du bruit large bande à des niveaux relativement élevés, bien plus élevés qu'avec des oscillateurs à champs croisés (magnétrons). La détermination quantitative de ces niveaux sort du cadre de la présente Recommandation.

## 2.2 Caractéristiques d'intérêt particulier

Les interactions mettant en œuvre des émissions de radars de radiolocalisation et des réceptions de radars de radionavigation présentent davantage d'intérêt que les interactions du type contraire. Cela tient au fait que les radars de radiolocalisation fonctionnant dans cette bande disposent généralement d'un large éventail de moyens de suppression du brouillage du type pouvant être causé par les radars de navigation maritime. Il a été déterminé que les fréquences porteuses des radars de navigation maritime fonctionnant dans cette bande sont concentrées depuis plusieurs décennies presque entièrement entre 3 020 et 3 080 MHz. Il est intéressant de noter que les faisceaux horizontaux des radars de radiolocalisation N° 1, N° 2 et N° 3, qui ont également fonctionné en milieu maritime, ont émis presque exclusivement dans cette région spectrale. Ces radars de radiolocalisation ont tous les trois utilisé des antennes à guidage fréquentiel en élévation. Etant donné qu'ils sont embarqués sur navire, ils doivent compenser les changements d'attitude du navire (roulis et tangage) par des variations en fréquence adaptées. Ainsi, la fréquence exacte à laquelle leur faisceau horizontal fonctionne varie quelque peu quand le navire roule ou tangue et quand l'antenne du radar effectue une rotation mécanique pour permettre un balayage en azimut. Néanmoins, le centroïde de la répartition de fréquences correspondant au faisceau à l'horizon est très proche de 3 050 MHz, fréquence qui peut correspondre également au centroïde de la répartition de fréquences des radars de navigation. Les faisceaux à l'horizon des radars de navire décrits dans le Tableau 1 sont donc concentrés à l'intérieur ou au voisinage des fréquences des radars de navigation.

Il est intéressant de noter que ces trois radars de radiolocalisation de navire utilisent une polarisation horizontale, polarisation la plus utilisée par les radars de navigation depuis plusieurs décennies.

Il est également important de souligner que les radars de radiolocalisation N° 1, N° 2, N° 3 et N° 4 émettent normalement certaines de leurs impulsions à leur puissance de crête maximale quand leur faisceau est à l'horizon, comme le montrent les chiffres des Tableaux 1 et 2.

Les conditions qui prédominent depuis plusieurs décennies ont eu tendance à maximiser les possibilités de couplage des brouillages causés par les radars de radiolocalisation de navire identifiés dans le présent document à des radars de navigation maritime de type classique. Si, depuis plusieurs décennies, on peut observer du brouillage causé par ces radars de radiolocalisation aux radars de radionavigation, son importance devrait être évaluée dans ce contexte.

La principale différence qui existe entre le radar N° 6 et le radar N° 5 réside dans le type d'antenne utilisé: une antenne réseau plan à lobes latéraux ultra-bas pour le radar N° 6 et une antenne à réflecteur pour le radar N° 5. L'obtention de lobes latéraux très bas pourrait être due en partie au fait que, malgré leur grand nombre, les faisceaux en réception de l'antenne ne sont pas guidés de façon électronique. L'excitation de l'antenne réseau n'est donc pas influencée par la quantification de déphaseurs ni par la détérioration qui se produit lorsqu'on oriente les faisceaux dans une direction très éloignée du point de visée géométrique ou normal de l'antenne.

### **3 Caractéristiques d'exploitation des systèmes de radiolocalisation autres que les systèmes météorologiques**

Les radars de radiolocalisation fonctionnant dans la bande en question sont beaucoup moins nombreux que les radars de navigation maritime. Presque tous les navires dépassant 3 000 tonnes brutes sont équipés d'un radar de navigation fonctionnant dans cette bande.

On estime que les radars de radiolocalisation à bord de navires décrits ici fonctionnent pendant un pourcentage de temps élevé quand les bateaux naviguent. On sait que les modes les plus souvent utilisés sont ceux qui permettent de faire des recherches multiples (grand angle). Les radars N° 2 et N° 4 utilisent donc évidemment le mode normal, alors que le radar N° 3 utilise comme mode primaire le mode grand angle. Les modes couvrant des angles d'élévation limités, tels que les modes «burn-through» ou «chirp-through», sont réservés généralement à des conditions particulières et même alors pour des secteurs en azimut étroits tandis que dans les secteurs en azimut restants, une couverture totale des angles en élévation est maintenue. Les modes MTI devraient être utilisés seulement lorsque les conditions l'exigent, par exemple, en cas de mer forte ou à proximité de terres émergées.

Les radars de radiolocalisation au sol sont susceptibles de fonctionner seulement pendant un petit pourcentage de temps, sauf s'ils sont utilisés dans certaines zones fixes, ou à des fins de navigation. Le radar N° 5 fonctionne normalement sur des fréquences fixes, sauf conditions particulières.

### **4 Futurs systèmes de radiolocalisation autres que les systèmes météorologiques**

Dans l'avenir, les futurs radars de radiolocalisation susceptibles de fonctionner dans la bande 2 900-3 100 MHz ressembleront vraisemblablement, dans leurs grandes lignes, à ceux décrits ici.

Ils seront probablement au moins aussi souples que ceux déjà décrits et pourront fonctionner dans des secteurs en azimut et en élévation différents.

On peut raisonnablement supposer que des progrès seront réalisés pour permettre aux futurs modèles de fonctionner dans une bande plus large, dépassant largement les 3 100 MHz.

Comme les radars existants N° 1 à 4, les futurs radars devraient être dotés d'une antenne à pointage électronique. Cependant, le pointage en fonction de la phase, issu de la technologie actuelle, constitue une alternative pratique et intéressante au pointage en fonction de la fréquence, et de nombreux radars de radiolocalisation conçus ces dernières années pour fonctionner dans d'autres bandes, ont utilisé le pointage en fonction de la phase en azimut comme en élévation. Contrairement aux radars à pointage en fonction de la fréquence, les radars à pointage en fonction de la phase

pourraient pointer leurs faisceaux indépendamment de la fréquence. Entre autres avantages, cette technique permettrait de mieux garantir la compatibilité dans des situations variées.

On s'attend à ce que certains futurs radars de radiolocalisation aient une capacité de puissance moyenne au moins aussi élevée que celle des radars décrits ici. Cependant, grâce aux progrès de la technique, on peut raisonnablement supposer que les futurs radars, qui fonctionneront dans la bande en question, produiront des émissions de bruit à large bande inférieures à celles des radars actuels utilisant des dispositifs à tube à vide à champs croisés. Le bruit à large bande sera réduit grâce à des systèmes d'émetteur/antenne à semi-conducteur dont seront équipés certains futurs radars. Dans ce cas, le facteur d'utilisation de ces émetteurs serait plus élevé que celui des émetteurs radars à tube normal et les impulsions seraient plus longues.

## 5 Caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radionavigation à bord de navires dans la bande 2 900-3 100 MHz<sup>2</sup>

Les caractéristiques des radars de radionavigation à bord de navires représentatifs sont présentées dans les Tableaux 3 et 4.

Les caractéristiques des balises de radionavigation maritime (racons), dont certaines fonctionnent dans la bande 2 900-3 100 MHz, figurent dans la Recommandation UIT-R M.824.

Sont indiqués dans le Tableau 3 la puissance d'émission ainsi que le nombre de radars de radionavigation à bord de navires conformes aux prescriptions de l'Organisation maritime internationale (OMI).

TABLEAU 3

### Radars de radionavigation à bord de navires

Catégorie de radar	Puissance de crête (kW)	Nombre total de radars dans le monde
OMI et navires de pêche	≤ 75	> 300 000

Les caractéristiques des radars qui garantissent l'efficacité d'utilisation du spectre, notamment le respect des critères de protection, concernent l'antenne et l'émetteur/récepteur du radar. La plupart des radars conformes aux prescriptions de l'OMI utilisent des antennes à fentes.

Les caractéristiques techniques des radars conformes aux prescriptions de l'OMI sont brièvement présentées dans le Tableau 4. La gamme de fréquences pour chaque caractéristique est exprimée sous la forme d'une valeur maximale et d'une valeur minimale.

<sup>2</sup> Les caractéristiques des radars civils fixes maritimes utilisés, par exemple, dans le cadre du service du contrôle du trafic maritime (SCTM) ne sont pas prises en compte, étant donné qu'elles dépendent de l'emplacement et de la fonction, c'est-à-dire de la surveillance des activités maritimes côtières et portuaires.

TABLEAU 4

**Radars du service de radionavigation maritime (radars conformes aux prescriptions de l'OMI, y compris ceux embarqués à bord de navires de pêche) émetteur/récepteur – caractéristiques types**

Caractéristiques	2 900-3 100 MHz	
	Maximum	Minimum
<i>Antenne (pour émission/réception):</i>		
Ouverture du faisceau (à -3 dB) (degrés)		
Horizontale	4,0	1,0
Verticale	30,0	24,0
Affaiblissement dans les lobes latéraux (dB)		
Compris entre -10° et +10°	28	23
En dehors de ±10°	32	31
Gain (dB)	28	26
Vitesse de rotation (tour/min)	60	20
<i>Emetteur</i>		
Puissance de crête (kW)	75	30
Fréquence (MHz)	3 080	3 020
Durée d'impulsion <sup>(1)</sup> (µs)	1,2	0,05
Fréquence de récurrence des impulsions <sup>(1)</sup> (Hz)	4 000	375
<i>Récepteur</i>		
Fréquence intermédiaire (FI) (MHz)	60	45
Largeur de bande FI (MHz)		
Impulsion brève	28	6
Impulsion moyenne/longue	6	2,5
Facteur de bruit (dB)	8,5	3

<sup>(1)</sup> Si ce Tableau est utilisé pour calculer la puissance moyenne, il convient de noter que la fréquence maximale de récurrence des impulsions est associée à la durée minimale d'impulsion et vice versa.

## 6 Radars du service de radionavigation aéronautique

### France

Il n'a pas encore été déterminé si cette bande est largement utilisée pour le contrôle du trafic aérien et si elle est utilisée pour la surveillance des aéroports (contrôle de l'approche) ou pour la surveillance air-route ou pour les deux fonctions. Puisque la plupart des radars de surveillance air-route ont une portée plus longue que les radars de surveillance d'aéroport et fonctionnent généralement dans la bande 1 215-1 400 MHz, il est probable que les radars de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz soient utilisés principalement pour la surveillance des aéroports ou pour le contrôle de l'approche terminale. Il apparaît que la bande 2 900-3 100 MHz n'est utilisée pour le contrôle du trafic aérien civil que dans le cas où la bande 2 700-2 900 MHz est déjà saturée par ces radars. Presque toutes les données techniques à jour fournies par les fabricants de radars de contrôle du trafic aérien civil dans la bande 2,3-3,4 GHz

indiquent en particulier que leur capacité de syntonisation est limitée à 2 700-2 900 MHz. On peut supposer que les radars utilisés pour la radionavigation aéronautique dans la bande 2 900-3 100 MHz sont similaires aux radars de radiolocalisation décrits ici. On s'attend en effet à ce que ces radars soient tridimensionnels plutôt que bidimensionnels, ces derniers étant réservés au contrôle du trafic aérien civil dans la bande 2 700-2 900 MHz. Dans la mesure où certains radars fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz peuvent être similaires aux radars fonctionnant dans la bande 2 700-2 900 MHz, leurs caractéristiques peuvent être consultées dans la Recommandation UIT-R M.1464-1. L'usage spécifique de la bande 2 900-3 100 MHz pour la radionavigation aéronautique est actuellement en cours d'évaluation.

## **7 Caractéristiques techniques et d'exploitation des radars météorologiques dans la bande 2 900-3 100 MHz**

Les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars météorologiques représentatifs dans la bande 2,3-3,4 GHz sont présentées dans la Recommandation UIT-R M.1464. Ces radars fonctionnent principalement dans la bande 2 700-2 900 MHz. Les stations exploitant cette bande fonctionnent de façon compatible avec d'autres radars dans la même bande, mais, en raison de la saturation de cette dernière, certains de ces radars fonctionnent aussi dans la bande 2 900-3 100 MHz dans certains pays.

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

Ces radars forment un réseau intégré qui couvre la totalité du territoire des Etats-Unis d'Amérique, Guam, Porto Rico, le Japon, la Corée du Sud, la Chine et le Portugal. La bande 2 700-3 100 MHz offre d'excellentes caractéristiques atmosphériques et de propagation concernant les possibilités de prévision météorologique et d'alerte. Les améliorations techniques qu'il est prévu d'apporter à ces radars devraient contribuer à étendre leur durée de vie jusqu'à 2040.

## **Annexe 2**

### **Critères de protection des radars**

L'effet de désensibilisation des radars météorologiques et de radiorepérage dû à une modulation assimilable à une onde entretenue ou à du bruit causé par d'autres services est probablement lié à l'intensité de cette modulation. Dans n'importe quel secteur d'azimut où ce type de brouillage se produit, il suffit d'ajouter la densité spectrale de puissance de ce brouillage à la densité spectrale de puissance du bruit thermique du récepteur du radar pour obtenir un résultat relativement fiable. Si la densité spectrale de puissance du bruit du récepteur du radar en l'absence de brouillage est désignée par  $N_0$  et celle du brouillage de type bruit est désignée par  $I_0$ , la densité spectrale de puissance du bruit effectif qui en résulte est la somme  $I_0 + N_0$ . Une augmentation d'environ 1 dB constituerait une

dégradation significative équivalente à une réduction de détection d'environ 6%. Cette augmentation correspond à un rapport  $(I + N)/N$  de 1,26 ou à un rapport  $I/N$  d'environ -6 dB, ce qui représente l'effet cumulatif admissible de plusieurs brouilleurs dans le faisceau principal; le rapport  $I/N$  admissible d'un brouilleur individuel dépend du nombre de brouilleurs et de leur géométrie et doit être estimé lors de l'analyse d'un scénario donné.

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

Il convient de noter que des études relatives à la faisabilité de l'utilisation des aspects statistiques et opérationnels des critères de protection des systèmes radar de radiorepérage sont en cours. Cette approche statistique peut être pertinente dans le cas de signaux non continus.

## **1 Critères de protection des radars de radionavigation à bord de navires**

Il est possible que les performances des systèmes de radionavigation n'atteignent pas les niveaux requis lorsque les différentes dégradations dues aux brouillages sont excessives. Selon les systèmes en présence et les scénarios opérationnels, ces dégradations peuvent se traduire de différentes façons:

- effets diffus, par exemple baisse de sensibilité ou réduction de la portée, coupures de signaux et diminution de la fréquence de mise à jour;
- effets discrets, par exemple brouillage détecté, augmentation du taux de fausses alarmes.

Associés à ces types de dégradations, les critères de protection devraient être fondés sur un seuil de valeurs de paramètres, par exemple pour un système anticollision:

- réduction tolérable de la portée et baisse associée de la sensibilité;
- taux de scrutation non productif tolérable;
- taux de fausses alarmes maximal tolérable;
- perte tolérable de cibles réelles.

Ces critères de protection ainsi que les seuils utilisés pour les déterminer, applicables aux systèmes de radionavigation à bord de navires, doivent être étudiés plus avant.

Les conditions d'exploitation des radars à bord de navires dépendent du scénario d'exploitation. Elles sont liées à la distance depuis la côte et aux obstacles marins. En termes simples, ces conditions peuvent être décrites en fonction de scénarios océaniques, côtiers ou portuaires.

Il n'existe pas pour l'instant d'accord international sur les critères de protection requis pour les radars actuellement installés sur les navires en ce qui concerne les scénarios indiqués ci-dessus. Toutefois, la Recommandation UIT-R M.1461 spécifie un niveau de brouillage/bruit générique de -6 dB.

L'Organisation maritime internationale (OMI) a procédé à une révision des normes de qualité de fonctionnement des radars de navire, révision qui tient compte des prescriptions récentes de l'UIT relatives aux rayonnements non désirés. Cette révision, pour la première fois, prend en considération la possibilité de brouillages causés par d'autres services radioélectriques, et comporte de nouvelles prescriptions relatives à la détection de cibles particulières en ce qui concerne la surface équivalente radar (fluctuante) et la portée requise, en fonction de la bande de fréquences du radar. La détection d'une cible est fondée sur une indication de celle-ci dans au moins huit balayages sur dix et sur une probabilité de fausses alarmes de  $10^{-4}$ . Ces conditions de détection sont spécifiées en l'absence d'écho de mer, de précipitations et de conduits d'évaporation, avec une hauteur d'antenne de 15 m au-dessus du niveau de la mer.

Point très important, les autorités maritimes internationales ont indiqué, sans réserve, dans leur récente mise à jour de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) que le radar restait un capteur essentiel pour l'évitement des collisions.

Cette déclaration ne devrait être considérée dans le contexte de l'installation à bord obligatoire de systèmes d'identification automatiques (SIA) que pour les navires répondant aux prescriptions relatives à l'emport de l'OMI. Le fonctionnement de ces systèmes repose sur des références externes (par exemple, le GPS, pour la vérification de l'indication de position relative en ce qui concerne les scénarios d'évitement de collisions).

Toutefois, ces systèmes installés à bord des navires ne peuvent jamais tenir compte d'un grand nombre d'objets maritimes (par exemple, des icebergs, des débris flottants, des épaves ou d'autres navires) qui ne sont pas équipés de systèmes SIA. Ces objets, qui représentent des risques potentiels de collision avec des navires, doivent être détectés par des radars de navire. Le radar va donc rester le système principal pour l'évitement des collisions dans un avenir prévisible.

Des débats intensifs avec les autorités maritimes, y compris avec les utilisateurs, ont conduit à l'élaboration d'une prescription opérationnelle selon laquelle, durant tous les voyages en mer, les brouillages que des moyens réglementaires permettent de limiter sont inacceptables.

Dans l'intervalle, la solution a consisté à effectuer des essais et à déterminer ce que les radars à bord de navires actuels peuvent accepter en termes de rapports brouillage/bruit ( $I/N$ ) en fonction de la probabilité de détection (voir l'Annexe 3).

### **Annexe 3**

#### **Résultats des essais de vulnérabilité aux brouillages**

Des essais ont été réalisés aux Etats-Unis et au Royaume-Uni afin de déterminer la vulnérabilité des radars de navigation à bord de navires actuels à différentes formes de brouillage. Trois radars de radionavigation maritime fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz et présentant des caractéristiques analogues à celles indiquées dans le Tableau 4 ont été soumis à des essais de vulnérabilité aux brouillages produits par différents types de signaux: MDPQ, AMRC, AMRC à large bande, MROF et pulsés.

Les résultats des essais sont présentés sous la forme d'une probabilité de détection en fonction du rapport brouillage/bruit ( $I/N$ ) pour chaque type de source de brouillage.

Il convient de noter qu'il n'existe pas de spécifications UIT ou d'autres spécifications relatives aux récepteurs convenues au niveau international pour les radars maritimes et que, par conséquent, il

n'est pas étonnant de constater que diverses caractéristiques de récepteurs sont utilisées dans cet environnement opérationnel. Les résultats des essais tiennent compte de cette diversité et indiquent la dégradation continue de la probabilité de détection à mesure que le niveau de brouillage augmente, ainsi qu'une «limite» à laquelle le récepteur n'est plus en mesure d'accepter le niveau particulier de brouillage sur la base d'une probabilité de détection de 90% (dans un même balayage).

Ces différences sont réelles et sont valables pour les radars actuellement opérationnels.

## **1 Caractéristiques des radars soumis aux essais**

Chaque radar testé est conforme aux prescriptions de l'OMI. Les caractéristiques de chacun des radars (classés dans les catégories A, B et C) sont présentées dans les Tableaux 5 à 7 ci-dessous. Les valeurs nominales de leurs principaux paramètres sont reprises de documents d'homologation de nature réglementaire, de brochures commerciales et de manuels techniques. Aucun radar à bord de navires de plaisance n'a été soumis à des essais. Les radars A et C utilisent un amplificateur/détecteur logarithmique dans leur récepteur, alors que le radar B utilise un amplificateur logarithmique suivi d'un détecteur vidéo distinct. Pour tous les radars, les fonctions de régulation de gain variable dans le temps (GVT) et de découpage des échos longs (FTC, *fast-time constant*) n'ont pas été activées pour les essais.

## **2 Fonctions de suppression des brouillages des récepteurs radar**

Tous les radars utilisaient un circuit et un logiciel de traitement du signal pour éliminer les brouillages provenant d'autres radars situés au même emplacement. Le radar A est doté de fonctions de traitement du signal et de suivi des cibles évoluées, notamment une fonction taux de fausse alarme constant (CFAR, *constant false alarm rate*) et une fonction de corrélation de balayage à balayage. Les radars B et C utilisent des corrélateurs d'impulsion à impulsion et de balayage à balayage pour limiter les brouillages causés par d'autres radars. Les radars B et C ne possèdent pas de fonction de traitement CFAR. On trouvera dans la Recommandation UIT-R M.1372 une description de ces techniques de limitation des brouillages.

## **3 Spectres d'émission des signaux brouilleurs**

Les spectres d'émission des signaux brouilleurs sont représentés sur les Fig. 1 à 3 ci-dessous. A l'exception du signal MDPQ qui a été injecté dans le radar A et du signal MAQ qui a été injecté dans les autres radars, les autres signaux brouilleurs ont été commandés par porte de façon à arriver en même temps que la cible générée dans le même azimut. Dans tous les cas, les signaux étaient accordés sur la fréquence de fonctionnement des radars.

TABLEAU 5

**Paramètres de l'émetteur et du récepteur du radar A**

Paramètre	Valeur			
Ouverture du faisceau de l'antenne dans le plan horizontal (degrés)	1,9			
Fréquence (MHz)	3 050 ± 30			
Puissance des impulsions (kW)	30			
Portée (milles nautiques)	0,375-1,5	3-6	12	24-96
Largeur des impulsions (microsecondes)	0,08	0,30	0,60	1,2
Fréquence de répétition des impulsions (Hz)	2 200		1 028	600
Largeur de bande FI (MHz)	28	3	3	3
Rejet des signaux brouilleurs (dB)	60			
Facteur de bruit du système (dB)	4			
Largeur de bande RF (MHz)	Inconnue			
Cadence de balayage de l'antenne (rpm)	26			
Durée de balayage de l'antenne (s)	2,31			
Ouverture du faisceau de l'antenne dans le plan vertical (degrés)	22			
Polarisation	Horizontale			

TABLEAU 6

**Paramètres de l'émetteur et du récepteur du radar B**

Paramètre	Valeur			
Fréquence (MHz)	3 050 ± 10			
Puissance des impulsions (kW)	30			
Portée (milles nautiques)	0,125-1,5	3-24	48	96
Largeur des impulsions (microsecondes)	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 signaux brouilleurs (dB)	Inconnue			
Facteur de bruit du système (dB)	5,5			
Largeur de bande RF (MHz)	Inconnue			
Cadence de balayage de l'antenne (rpm)	24/48			

TABLEAU 6 (fin)

Paramètre	Valeur
Ouverture du faisceau de l'antenne dans le plan horizontal (degrés)	2,8
Ouverture du faisceau de l'antenne dans le plan vertical (degrés)	28
Polarisation	Horizontale

TABLEAU 7

**Paramètres de l'émetteur et du récepteur du radar C**

Paramètre	Valeur		
Fréquence (MHz)	3 050 ± 10		
Puissance des impulsions (kW)	30		
Portée (milles nautiques)	0,125-3	6-24	48-96
Largeur des impulsions (microsecondes)	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 signaux brouilleurs (dB)	Inconnue		
Facteur de bruit du système (dB)	4		
Largeur de bande RF (MHz)	Inconnue		
Cadence de balayage de l'antenne (rpm)	25/48		
Durée de balayage de l'antenne (s)	2,31		
Ouverture du faisceau de l'antenne dans le plan horizontal (degrés)	2,0		

FIGURE 1

**Spectres d'émission de la forme d'onde MDPQ**

Signal MDPQ à 2 Mbit/s

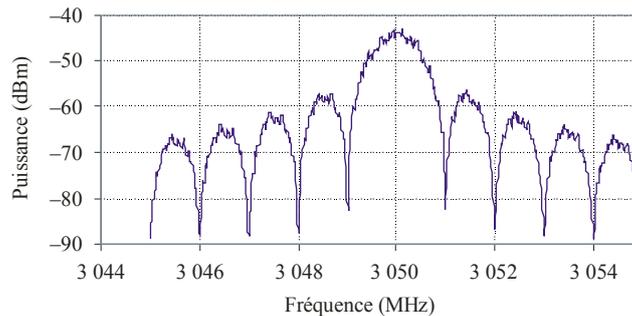
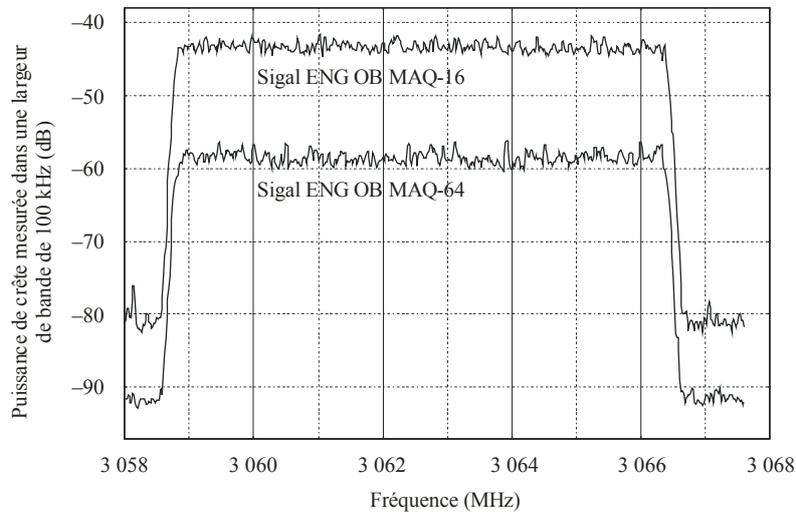


FIGURE 2

**Journalisme électronique (ENG)/reportage extérieur (OB) avec modes de porteuse de données MAQ-16 et MAQ-64 (ETSI 300 744)**

Spectre des signaux ENG OB



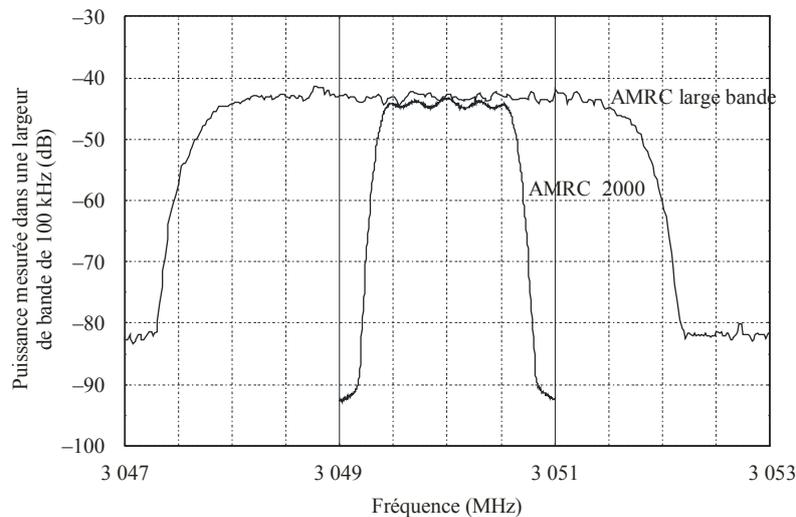
*Note* – Les courbes du spectre sont décalées en amplitude pour que les graphiques soient clairs.

1460-02

FIGURE 3

**Signaux AMRC-LB en Europe et AMRC 2000 aux Etats-Unis et au Japon (liaison retour)**

Spectres des signaux AMRC-LB et AMRC 2000



1460-03

#### 4 Génération de cibles non fluctuantes

On a utilisé un ensemble composé de générateurs de formes d'onde arbitraires, de générateurs de signaux RF, de circuits discrets, d'un ordinateur portable et d'autres équipements RF (câbles, coupleurs, combineurs, etc.) pour générer dix cibles équidistantes le long d'une radiale de 3 milles nautiques qui présentaient le même niveau de puissance RF. Le niveau de puissance des cibles simulées a été réglé de façon que la probabilité de détection des cibles soit d'environ 90%. Les dix impulsions déclenchées par le déclencheur de chaque radar se produisent toutes pendant le temps de retour d'une des échelles de portée (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 et un seul relèvement. Pour régler les paramètres de l'écran, la puissance RF du générateur de cible 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 pour les fonctions du logiciel qui commandaient les réglages de brillance de la cible et du signal de fond, des nuances et des contrastes ont été fixées par expérimentation par le personnel chargé des essais, avec l'aide de constructeurs de radars et de marins professionnels qui avaient une expérience du fonctionnement de ces types de radars sur des navires de diverses tailles. Une fois ces valeurs fixées, elles ont été utilisées pendant tout le programme des essais pour le radar considéré.

Les cibles générées sont des cibles non fluctuantes: à chaque distance, la surface équivalente est constante.

## 5 Résultats des essais

### 5.1 Radar A

On a effectué sur l'écran radar les images vidéo des cibles lorsque des signaux MDPQ étaient appliqués au récepteur. Le niveau de puissance de ces signaux a été réglé jusqu'à ce que l'écran radar soit en mode de base.

On fait varier l'intensité des signaux MDPQ à l'intérieur d'une plage de valeurs afin de trouver le niveau auquel les signaux MDPQ n'affectaient pas le fonctionnement du radar pour ce qui est de l'affichage des cibles vidéo. Les résultats montrent que les effets des signaux MDPQ étaient négligeables sur l'écran radar à un niveau de puissance d'environ  $-112$  dBm (mesuré dans une largeur de bande de 3 MHz). La puissance du bruit du récepteur du radar est d'environ  $-104$  dBm. Le rapport  $I/N$  correspondant est d'environ  $-8$  dB.

### 5.2 Radar B

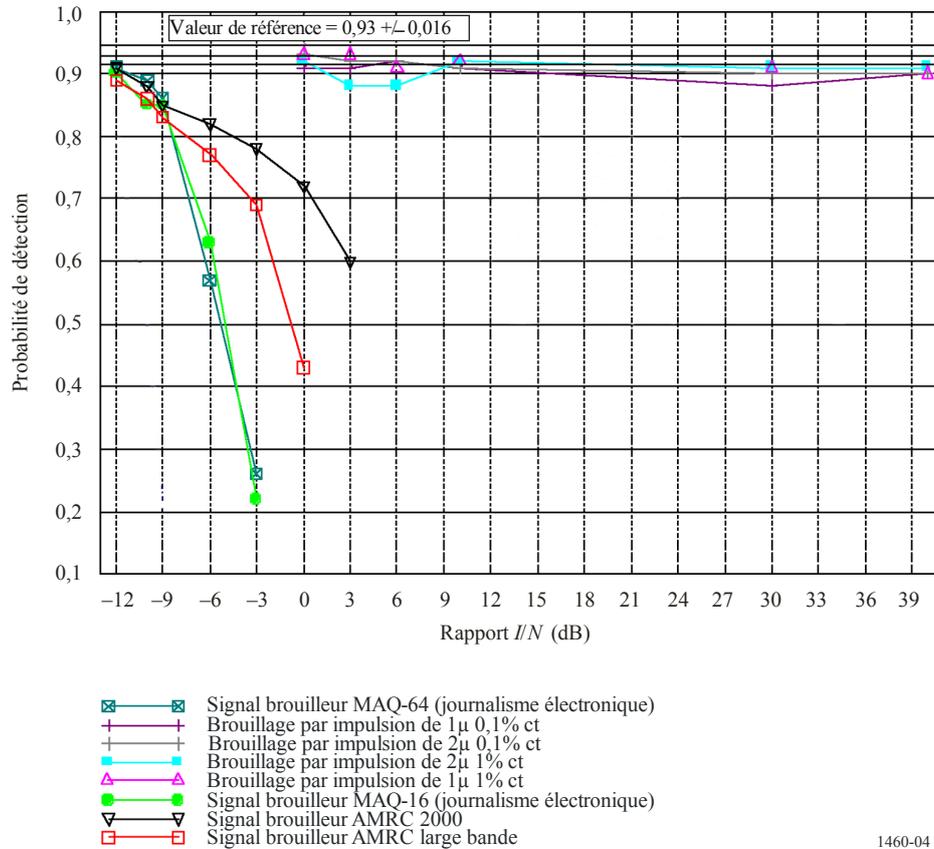
Pour le radar B, il a été possible d'observer des effets que les signaux brouilleurs avaient sur chaque cible. Pour chaque signal brouilleur, on a pu mesurer la diminution du nombre de cibles visibles sur l'écran radar en fonction de l'augmentation du niveau du rapport  $I/N$ . On a compté le nombre de cibles pour chaque niveau du rapport  $I/N$  et pour chaque type de brouillage. On a mesuré avant le début de chaque essai la valeur de référence de la probabilité de détection des cibles. Les résultats pour le radar B sont indiqués sur la Fig. 4 ci-dessous: les courbes représentent la probabilité de détection des cibles en fonction du niveau du rapport  $I/N$ , pour chaque type de brouillage. La valeur de référence est de  $0,93 \pm 0,016$ . On notera que chaque point sur cette Figure représente un total de 500 cibles utiles.

La Fig. 4 fait apparaître que, sauf dans le cas d'un brouillage par impulsion, la valeur de la probabilité de détection des cibles est tombée au-dessous de la valeur de référence utilisée dans ces essais, valeur à laquelle on a retranché l'écart type pour les valeurs du rapport  $I/N$  supérieures à  $-12$  dB, pour tous les signaux brouilleurs utilisant une modulation numérique.

FIGURE 4

### Courbe de la probabilité de détection des cibles pour le radar

Points de données de brouillage pour le radar B



### 5.3 Radar C

Pour le radar C, il a été difficile de mesurer la chute de la valeur de la probabilité de détection des cibles lorsque le signal brouilleur était appliqué au récepteur du radar. En effet, en présence d'un 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 calculer le nombre de cibles perdues pour évaluer la probabilité de détection des cibles. Par conséquent, les données de mesure pour le radar C indiquent si toutes les cibles sont apparues ou non sur l'écran pour chaque niveau de rapport  $I/N$  et chaque type de brouillage. Les données concernant le radar C sont résumées dans les Tableaux 8 et 9.

Les données du Tableau 8 montrent que, dans le cas du radar C, les signaux brouilleurs MAQ ont eu des effets sur la visibilité des cibles sur l'écran lorsque le rapport  $I/N$  était de  $-9$  dB. A ce niveau, l'intensité lumineuse des cibles sur l'écran était légèrement plus faible que dans la situation de référence. Pour un rapport  $I/N$  de  $-6$  dB, l'écho lumineux sur l'écran radar était encore plus faible et, au-dessus de  $-3$  dB, l'intensité lumineuse était si faible que les cibles n'étaient plus visibles sur l'écran.

Les données du Tableau 9 montrent que, dans le cas du radar C, les signaux brouilleurs AMRC ont eu des effets sur la visibilité des cibles sur l'écran lorsque le rapport  $I/N$  était de  $-6$  dB. A ce niveau, l'intensité lumineuse des cibles sur l'écran était notablement plus faible que dans la situation de référence. Pour un rapport  $I/N$  de  $-3$  dB ou plus, l'intensité lumineuse était si faible que les cibles n'étaient plus visibles sur l'écran.

Dans le cas du Radar C, les signaux brouilleurs par impulsions de 2,0 et 1,0  $\mu$ s commandés par porte, avec des rapports cycliques de 0,1 et 1,0%, n'ont pas eu d'effet sur la visibilité des cibles sur l'écran lorsque le rapport  $I/N$  était très élevé, à savoir de 40 dB.

TABLEAU 8

**Radar C avec un signal brouilleur ENG/OB continu**

Rapport $I/N$ (dB)	Signal MAQ-64	Signal MAQ-16
-12	Aucun effet	Aucun effet
-10	Aucun effet	Aucun effet
-9	L'intensité lumineuse des cibles est légèrement plus faible	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible
-6	L'intensité lumineuse des cibles est très faible	L'intensité lumineuse de la cible est très faible
-3	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
0	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
3	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
6	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles

TABLEAU 9

**Radar C avec signaux brouilleurs AMRC commandés par porte**

Rapport $I/N$ (dB)	Signal brouilleur AMRC-LB	Signal brouilleur AMRC 2000
-12	Aucun effet	Aucun effet
-10	Aucun effet	Aucun effet
-9	Aucun effet	Aucun effet
-6	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible	L'intensité lumineuse de la cible est légèrement plus faible
-3	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
0	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
3	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles
6	Les cibles ne sont plus visibles	Les cibles ne sont plus visibles

**6 Synthèse des résultats d'essais**

Il a été procédé à des essais radar pour déterminer, pour des radars particuliers utilisant des cibles non fluctuantes et des sources de brouillage, un niveau  $I/N$  pour lequel les brouillages n'ont «aucun effet» (c'est-à-dire pour un fonctionnement du radar en mode de base). Les échos radar non traités désignés couramment sous le nom de «blips» ou «vidéo brute» ont été observés et/ou comptés comme des cibles dans ces essais.

Ce niveau correspondant à «aucun effet» est obtenu en fonction d'une probabilité de détection de 90% et est présenté brièvement ci-dessous en fonction du rapport  $I/N$  pour chaque radar et source

de brouillage. Les résultats sont résumés dans le Tableau 10. La détermination de la quantité acceptable de brouillages pour ces types de radars peut être quelque peu subjective en raison de la vue, plus ou moins bonne, et de l'expérience de l'opérateur du radar qui regarde l'écran pour compter les cibles et évaluer leur intensité lumineuse. Toutefois, en raison de la conception du radar, la seule façon de réaliser ces essais est que l'opérateur du radar ou la personne effectuant l'essai observe les cibles sur l'écran radar.

TABLEAU 10

**Synthèse des résultats concernant les cibles non fluctuantes**

Source de brouillage	Radar A	Radar B	Radar C
MDPQ	-8	-	-
MAQ-64	-	-10	-10
MAQ-16	-	-12	-10
Par impulsions de 0,1	-	+40	+30
Par impulsions de 1,0	-	+40	+30
AMRC 2000	-	-10	-9
AMRCLB	-	-10	-9

Il faut souligner que les brouillages produisent d'autres effets qui réduisent l'efficacité opérationnelle d'un radar. Parmi ces effets, on peut citer la création de «fausses cibles». Les radars de navire soumis aux essais ne possèdent généralement pas de fonction de traitement «taux de fausse alarme constant» (CFAR). Seul le radar A, qui est utilisé pour des tâches réglementaires additionnelles, était doté de fonctions de traitement CFAR plus sophistiquées et avait la capacité d'afficher des cibles traitées/synthétiques.

Les résultats de ces essais montrent que, lorsque les signaux émis par des dispositifs à modulation numérique en direction d'un radar du type de ceux testés ici dépassent un rapport  $I/N$  de  $-6$  dB, pour certains de ces radars, l'intensité lumineuse des cibles diminue, certaines cibles sont perdues ou de fausses cibles sont générées. Pour d'autres radars, à ce niveau du rapport  $I/N$ , ces effets ont déjà été constatés. Aucune recommandation n'est formulée pour l'instant sur le rapport  $I/N$  requis dans un scénario particulier différent de celui qui est déjà spécifié ( $I/N = -6$  dB).

Aucun des radars testés n'appartenait à la catégorie des navires de plaisance. Ces radars sont les plus nombreux à travers le monde (plus de 2 millions d'unités actuellement). Les radars à bord de navires de plaisance ne possèdent pas de circuits de limitation des brouillages et/ou de dispositifs de traitement du signal, contrairement aux radars A, B et C, ni d'autres systèmes de limitation des brouillages décrits dans la Recommandation UIT-R M.1372; il peut donc être nécessaire de renforcer leur protection afin qu'ils puissent respecter les prescriptions en matière d'évitement des collisions.

Les essais montrent que les radars peuvent supporter des signaux brouilleurs par impulsions à faible rapport cyclique lorsque le rapport  $I/N$  est élevé, en raison de la présence d'un circuit de limitation des brouillages entre radars et/ou d'un dispositif de traitement du signal. Les techniques de limitation des brouillages entre radars (corrélateurs de balayage à balayage ou d'impulsion à impulsion et traitement CFAR) décrites dans la Recommandation UIT-R M.1372 donnent de bons résultats. Toutefois, ces mêmes techniques ne permettent pas de limiter des émissions continues ou à fort rapport cyclique assimilables à du bruit au niveau du récepteur radar.

Etant donné que la plupart des radars du service de radionavigation maritime exploités dans la bande 2 900-3 100 MHz sont très semblables tant au niveau de la conception que de l'exploitation, les critères de protection qui ont été calculés pour les radars utilisés pour ces essais ne devraient pas beaucoup varier. Par conséquent, les résultats de ces essais devraient pouvoir s'appliquer à d'autres radars analogues fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz.

Les autorités qui souhaitent effectuer des études de partage, en vue d'un partage possible dans les bandes considérées, devraient utiliser ces résultats comme fil directeur pour leurs études, sachant que les résultats d'essais présentés aux § 5 et 6 et, en particulier, dans le Tableau 10 concernaient des cibles non fluctuantes. S'ils avaient été effectués sur des cibles fluctuantes, les essais auraient pu donner des résultats différents.

---