

RECOMMANDATION UIT-R M.1460*

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET D'EXPLOITATION ET CRITÈRES DE PROTECTION
DES RADARS MÉTÉOROLOGIQUES ET DE RADIOREPÉRAGE FONCTIONNANT
DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES 2 900-3 100 MHz**

(Questions UIT-R 226/8 et UIT-R 216/8)

(2000)

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, propres aux radars pour remplir leurs fonctions sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars météorologiques et de radiorepérage sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande;
- c) que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro S4.10 du RR et qu'aucun brouillage préjudiciable à son encontre ne peut être toléré;
- d) qu'une partie considérable du spectre attribué aux services de radiolocalisation et de radionavigation (s'élevant à environ 1 GHz) a été retirée à ces services ou reléguée à un statut inférieur depuis la CAMR-79;
- e) que certains groupes techniques de l'UIT-R envisagent la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes (par exemple, systèmes d'accès hertzien fixe ou systèmes fixes ou mobiles à haute densité) ou services dans des bandes comprises entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars météorologiques et de radiorepérage;
- f) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des radars météorologiques et de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer la possibilité de mettre en œuvre de nouveaux types de systèmes dans des bandes de fréquences utilisées par ces radars;
- g) que des procédures et méthodologies sont nécessaires pour analyser la compatibilité des radars météorologiques et de radiorepérage avec les systèmes d'autres services;
- h) que la Question UIT-R 216/8 demande la réalisation d'études de compatibilité entre le service de radionavigation et le service de radiolocalisation fonctionnant dans les bandes 2 900-3 300 MHz et 5 350-5 650 MHz;
- j) que des stations radar des services de radionavigation, de radiolocalisation et des auxiliaires de la météorologie sont exploitées dans la bande 2 900-3 100 MHz,

notant

- a) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars du service de radionavigation maritime, fonctionnant dans la bande 2 900-3 100 MHz, sont exposées dans la Recommandation UIT-R M.1313;
- b) 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;
- c) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars 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,

* 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) et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

recommande

- 1 que les caractéristiques techniques et d'exploitation des radars météorologiques et de radiorepérage décrits à l'Annexe 1 et dans les Recommandations citées aux *notant* a), b) et c) ci-dessus soient considérées comme représentatives des systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences 2 900-3 100 MHz;
- 2 que la Recommandation UIT-R M.1461 soit utilisée comme directive pour l'analyse de la compatibilité entre radars météorologiques et de radiorepérage et systèmes d'autres services;
- 3 que le rapport entre la puissance du signal brouilleur et le niveau de puissance du bruit causé par le récepteur du radar, I/N , de -6 dB soit utilisé comme niveau de protection exigé pour les radars météorologiques et de radiorepérage et représente le niveau de protection net si plusieurs brouilleurs sont présents.

NOTE 1 – La présente Recommandation sera révisée dès que plus d'informations détaillées seront disponibles.

ANNEXE 1

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

1 Introduction

Un grand nombre de radars transportables et à bord de navire fonctionnent dans la bande 2 900-3 100 MHz. Les § 2 à 4 traitent en détail des radars de radiolocalisation. Le § 5 présente brièvement les radars de radionavigation et le § 6 est consacré aux radars météorologiques. Le § 7 traite des critères de brouillage ou de protection des radars.

2 Caractéristiques techniques des radars de radiolocalisation

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 des 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 aux 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 faible angle d'élévation		
Fréquence à l'horizon (MHz)	Mer calme: 3 048-3 051	Mer calme: 3 055	Mer calme: 3 051
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° Mode «burn-thru»: (1 faisceau fixe de 1,6°) Mode «chirp-thru» (1 faisceau avec forme d'onde modulée linéairement en fréquence) MTI de longue portée, 3 impulsions; 5° ou 45° MTI de courte portée, 4 impulsions; 5° ou 45° Passif	Longue portée ($\leq 12,8^\circ$ en élévation) Longue portée/faible élévation ($\leq 4,8^\circ$) Angle élevé ($\leq 41,6^\circ$) Élévation 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	Modes normal, 5° 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°	2,2 MW à l'horizon, à 5°	1,0-1,5 MW à l'horizon, à 35°
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° à 300 kW, à 41,6°	600 kW à 5,5°-21°; 60 kW au-dessus de 21° et à l'horizon dans la plupart des impulsions MTI	La puissance diminue lentement de 1 MW environ à 35° à 300 kW à 41,6°
Largeur d'impulsion/de sous-impulsion de l'émetteur (μ s)	Premières unités: 4 et 3 ou 2 Dernières unités: 10; 4,6 et 2,5	Modes normal, 5° et MTI: 27 (9 sous-impulsions contiguës de 3 μ 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

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
Largeur de bande de l'émetteur à 3 dB	Largeur d'impulsion de 10 µs: 100 kHz environ Largeur d'impulsion de 4,6 µs: 225 kHz environ Largeur d'impulsion de 2,5 µs: 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 µs: 100 kHz environ Largeur d'impulsion de 4,6 µs: 225 kHz environ Largeur d'impulsion de 2,5 µs: 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	
PRI (µs) ⁽¹⁾	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 (µs)		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 Élévation: 2,25	Azimut: 1,5 Élévation: 1,6	Azimut: 1,9 Élévation: 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 Élévation: 20 Dernières unités: Azimut: 25 Élévation: 25	Azimut: 25 Élévation: 15	Azimut: 25 Élévation: 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

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques	Radar N° 1	Radar N° 2	Radar N° 3
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 ⁽²⁾	200 MHz (estimée)	≥ 200 MHz	200 MHz
Largeur de bande FI du récepteur ⁽²⁾	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
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 Écrêtement de bruit («Dicke fix»)	Suppression des lobes latéraux Vidéo logarithmique Récepteur «Dicke Fix» Stroboscope détecteur de brouillage (jam strobe) ⁽³⁾
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 (≤ 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	
Modes de couverture/performance	Normal (0°-18°) Impulsion codée (compression d'impulsion à 0°-2,24°, normale au-dessus de 2,24°) MTI ($\leq 18^\circ$); «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	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 Impulsion codée: trois sous-impulsions contiguës de 9,9 μ s, composée chacune de 13 bribes codées «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

TABLEAU 2 (suite)

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
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 ²	La puissance de l'émetteur est répartie entre plusieurs faisceaux avec un angle d'élévation compris entre 0° et 20°
Largeur d'impulsion/de sous-impulsion de l'émetteur	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 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	Normal et MTI: 350 kHz par sous-impulsion 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 ⁽¹⁾	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	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	Émetteur: 34,5 Récepteur: 38 (La puissance de l'émetteur est répartie entre 13 faisceaux; les retours sont répartis dans 6 canaux RF seulement.)	Émetteur: 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 ²	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

TABLEAU 2 (fin)

Caractéristiques	Radar N° 4	Radar N° 5	Radar N° 6
Suppression des premiers lobes latéraux (dB)	Azimut: 25 Élévation: 25	18,5 (supposé en azimut)	Émetteur: 20 dans le plan vertical Récepteur: au moins 35 en azimut; au moins 49 en élévation
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	Normal et MTI: 350 kHz 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	Normal/non MTI: 3 dB (intégration vidéo, 2 impulsions) 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 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 Déecteur 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, les abréviations et termes suivants sont utilisés:

\Leftrightarrow :	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>)
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 aux 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 là, à des altitudes au-dessus de l'atmosphère. La puissance de crête de l'émetteur peut être réduite aux angles d'élévation les plus élevés 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 des 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 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 biphase. 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 radio-navigation présentent davantage d'intérêt que les interactions du type contraire. Ceci tient au fait que le service de radiolocalisation bénéficie actuellement d'attributions dans la bande en question à titre secondaire alors que le service de radionavigation bénéficie d'attributions à titre primaire et 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. (Voir, par exemple, la Recommandation UIT-R M.1313). 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 au 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 ont utilisé une polarisation horizontale, polarisation la plus utilisée par les radars de navigation ces dernières décennies.

Il est également important de souligner que les radars de radiolocalisation N° 1, N° 2, N° 3 et N° 4 ont émis normalement certaines de leurs impulsions à leur puissance de crête maximale quand leur faisceau est à l'horizon, comme il est quantifié dans les Tableaux 1 et 2.

Les conditions qui ont prédominé ces dernières 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 maritimes de type classique. Si du brouillage causé par ces radars de radiolocalisation aux radars de radio-navigation a pu être observé ces dernières décennies, 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. Le bon fonctionnement des lobes latéraux très bas pourrait être attribué 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

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 10 000 tonnes brutes sont équipés d'un radar de navigation fonctionnant dans cette bande.

Il apparaît 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 pour des circonstances particulières et seulement là encore pour des secteurs en azimut étroit tandis que dans les secteurs en azimut restants, une couverture totale des angles en élévation est maintenue. Les modes MTI devraient être utilisés seulement dans les conditions qui 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 dans des circonstances particulières.

4 Futurs systèmes de radiolocalisation

Les futurs radars de radiolocalisation susceptibles de fonctionner dans la bande 2 900-3 100 MHz ressembleront vraisemblablement dans les grandes lignes à ceux décrits ici.

Ils seront probablement au moins aussi flexibles 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 les 3 100 MHz.

Comme les radars existants N° 1-4, 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 certains futurs radars seront équipés. 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 dans la bande 2 900-3 100 MHz

Les caractéristiques des radars de radionavigation maritime sont présentées dans la Recommandation UIT-R M.1313.

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.

Un rapport informel indique que la bande 2 900-3 100 MHz est également utilisée par des systèmes de radionavigation aéronautique dans au moins huit pays d'Europe et dans les pays environnants. Cela est corroboré en partie par le fait que l'UIT a enregistré des radars de radionavigation aéronautique fonctionnant dans 20 emplacements en France et un emplacement aux Pays-Bas. Il s'agit évidemment de radars primaires puisqu'ils ont tous une puissance de crête comprise entre 0,6 MW et 2,0 MW et la plupart d'entre eux ont des coordonnées identiques pour l'emplacement d'émission et pour l'emplacement de réception, bien que ces entrées contiennent de nombreuses anomalies comme des messages signalant que les antennes ont un gain de 0 dBi et/ou ne pivotent pas.

Toutefois, il n'a pas encore été possible de déterminer 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 sont 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. L'usage spécifique de la bande 2 900-3 100 MHz pour la radionavigation aéronautique est actuellement en cours d'évaluation.

6 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 radars 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.

7 Critères de protection

L'effet de désensibilisation des radars météorologiques et de radiorepérage due 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. Si le brouillage par ondes entretenues de cette intensité provenait de la plupart des azimuts, il provoquerait une réduction de la zone de surveillance d'environ 12% pour un radar de recherche en surface ou une réduction du volume de surveillance d'environ 19% pour un radar de recherche aérienne; il serait nécessaire alors de maintenir un rapport I/N inférieur.

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.
