

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1874
(04/2010)

**Caractéristiques techniques et
opérationnelles des radars
océanographiques fonctionnant dans des
sous-bandes de la gamme des fréquences
comprises entre 3 et 50 MHz**

Série M

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



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

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

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

***Note:** Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

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.1874

Caractéristiques techniques et opérationnelles des radars océanographiques fonctionnant dans des sous-bandes de la gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz

(Question UIT-R 240/5)

(2009-2010)

Résumé

La présente Recommandation fournit les caractéristiques techniques et opérationnelles des radars océanographiques à utiliser dans les études de partage et de compatibilité, ainsi que pour la planification des fréquences et la mise en place des systèmes, dans la bande des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz. Elle précise les caractéristiques qui s'appliquent aux systèmes de mesures océanographiques à courte portée, à portée standard, à longue portée, à très longue portée et à haute résolution.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire d'exploiter des systèmes radar océanographiques dans le service de radiorepérage¹, dans la gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz;
- b) que, depuis plusieurs années, des systèmes radar océanographiques fonctionnent dans la gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz dans certains pays au titre de la disposition numéro 4.4 du Règlement des radiocommunications;
- c) que l'on s'intéresse partout à la mise en place de systèmes opérationnels à l'échelle mondiale;
- d) que la gamme des fréquences qui peut être utilisée par les système radar pour l'observation des océans est normalement déterminée par des impératifs de qualité de fonctionnement, de fonctionnalités et de disponibilité des données,

reconnaissant

- a) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes radar océanographiques sont nécessaires pour la gestion du spectre et la planification de la mise en place des systèmes,

recommande

1 de prendre en compte, dans les études de partage et de compatibilité vis-à-vis de systèmes appartenant à d'autres services, les aspects techniques et opérationnels des radars océanographiques présentés à l'Annexe 1;

2 de prendre en compte les aspects techniques et opérationnels des radars océanographiques présentés à l'Annexe 1 également à des fins de planification.

¹ Les services de radiolocalisation et de radionavigation sont des sous-services du service de radiorepérage.

Annexe 1

Caractéristiques techniques et opérationnelles des radars océanographiques fonctionnant dans des sous-bandes de la gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz

1 Introduction

Un pourcentage important de la population mondiale vivant à moins de 80 km des côtes, il est essentiel de réaliser des mesures exactes, fiables et détaillées de variables caractéristiques de l'environnement côtier.

De même que les vents de l'atmosphère nous donnent des informations sur l'endroit et le moment où se produisent des phénomènes météorologiques, de même les courants maritimes déterminent comment les phénomènes océaniques se déplacent. Ces deux flux dynamiques sont utilisés pour déterminer le trajet des polluants naturels et artificiels. Or, actuellement, les mesures des courants océaniques ne sont pas aussi faciles à obtenir que celles concernant les vents.

C'est pourquoi l'on cherche de plus en plus à mesurer avec précision les courants et la houle le long des côtes. La capacité des systèmes radar fonctionnant à des fréquences supérieures à 50 MHz à fournir des données répondant aux exigences actuelles de portée, de précision et de résolution est limitée. La communauté océanographique internationale prévoit donc de mettre en place des réseaux de radars pour surveiller la surface océanique le long des côtes. L'amélioration des mesures des courants côtiers et de l'état de la mer présente pour la société plusieurs avantages, notamment celui de mieux comprendre la pollution des côtes, la gestion de la pêche, les opérations de recherche et de sauvetage, l'érosion des plages, la navigation maritime et le transport des sédiments. En mesurant la surface océanique, les radars côtiers collectent des données concernant l'état de la mer et les vagues océaniques dominantes, données qui sont exploitées par les systèmes de météorologie. De plus, la technologie des radars océanographiques trouve des applications dans le domaine maritime à l'échelle mondiale puisqu'elle permet de détecter à longue distance les navires de surface, ce qui contribue à la sécurité et à la sûreté de la navigation et des ports dans le monde entier².

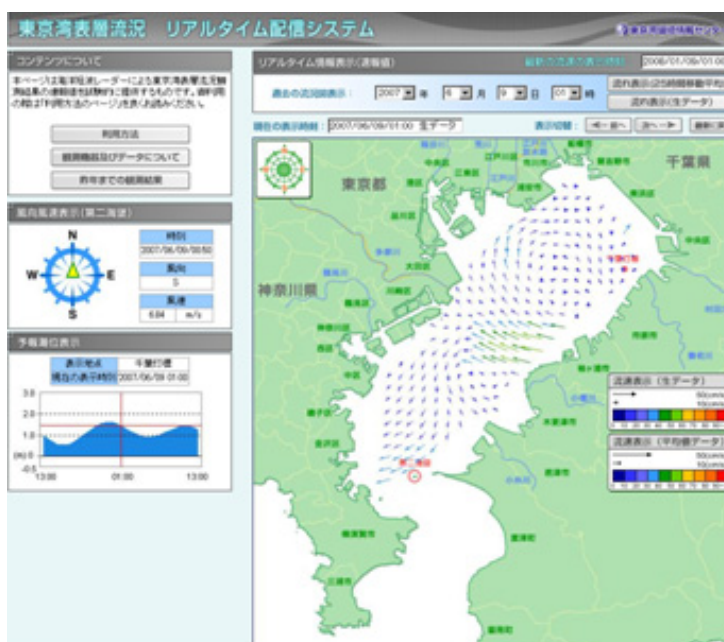
Pour obtenir des données supplémentaires en vue d'atténuer les effets des catastrophes naturelles, notamment des tsunamis, de comprendre le changement climatique et d'assurer la sécurité des déplacements maritimes, on s'est intéressé à l'exploitation des réseaux de radars océanographiques à l'échelle mondiale.

La mise en œuvre de ces systèmes au Japon est présentée aux Fig. 1 et 2.

² David Ullman, James O'Donnell, Christopher Edwards, Todd Fake et David Morschauser, *Use of Coastal Ocean Dynamics Application Radar (CODAR) Technology in the United States of America Coast Guard Search and Rescue Planning*, Coast Guard Research and Development Center Groton CT.

FIGURE 1

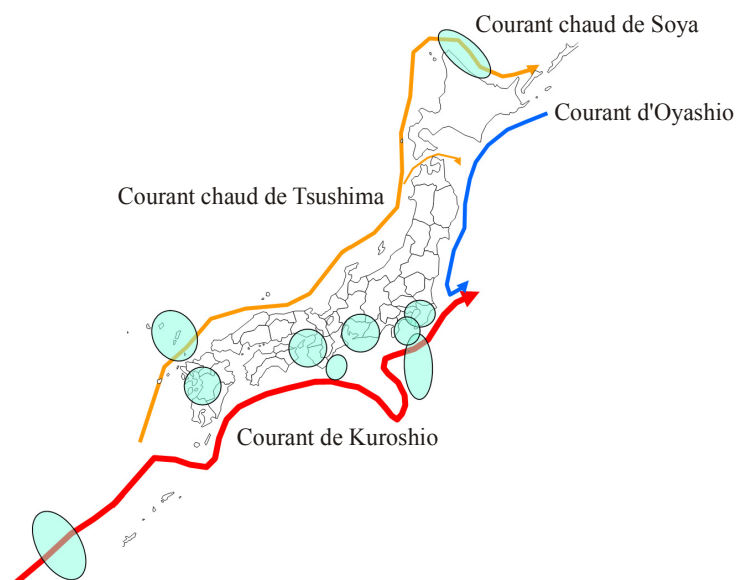
Exemple de courants de surface observés par des radars océanographiques du Système de surveillance de la baie de Tokyo exploité par le ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports, Japon



M.1874-01

FIGURE 2

Radars océanographiques au Japon
(pour chaque site radar fixe, les zones d'observation sont indiquées)

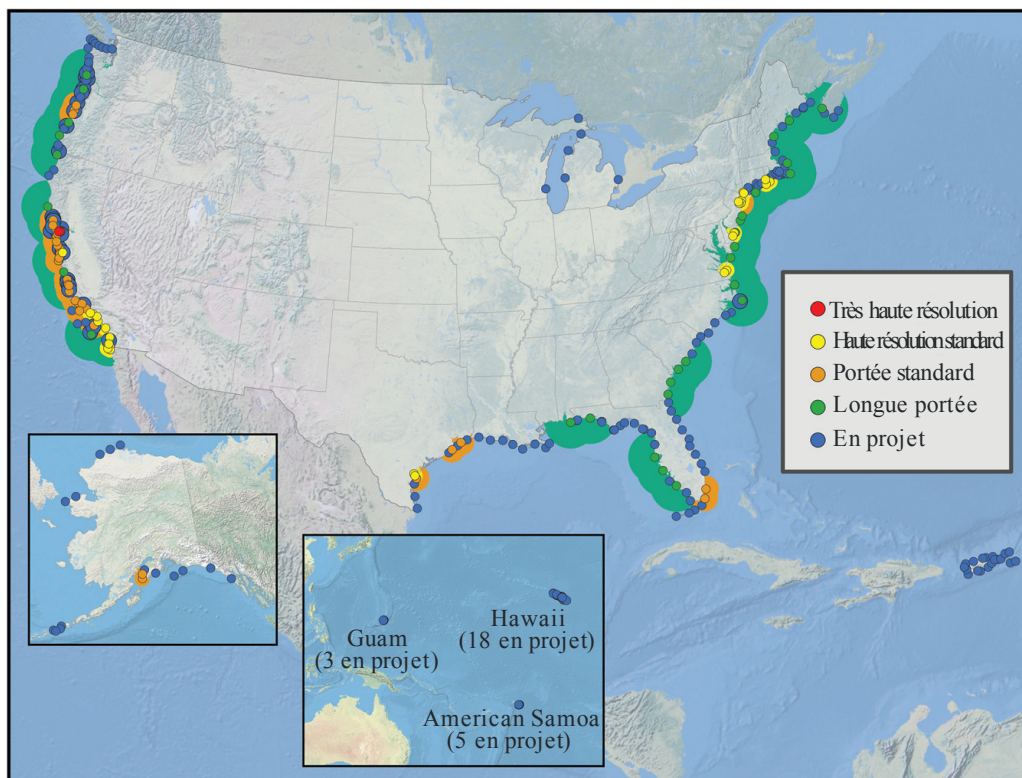


M.1874-02

On comptait, en 2009, 143 radars océanographiques répartis inégalement le long des côtes étatsuniennes (ce chiffre inclut les radars qui ne fonctionnent pas de façon régulière). La quasi-totalité des systèmes radar océanographiques des Etats-Unis sont détenus et exploités par des

départements de recherche universitaires. La Fig. 3 montre les sites de radars océanographiques existants et en projet aux Etats-Unis, dans les îles du Pacifique et dans la région des Caraïbes.

FIGURE 3
Sites de radars océanographiques existants et en projet
aux Etats-Unis, dans les îles du Pacifique et dans la région des Caraïbes



M.1874-03

Le Plan de développement du système intégré d'observation des océans (IOOS) prévoit la mise en service d'un réseau de sites de surveillance à base de radars océanographiques, qui fait également partie du système mondial d'observation des océans (GOOS), lequel est un composant essentiel du Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS).

2 Principe de fonctionnement

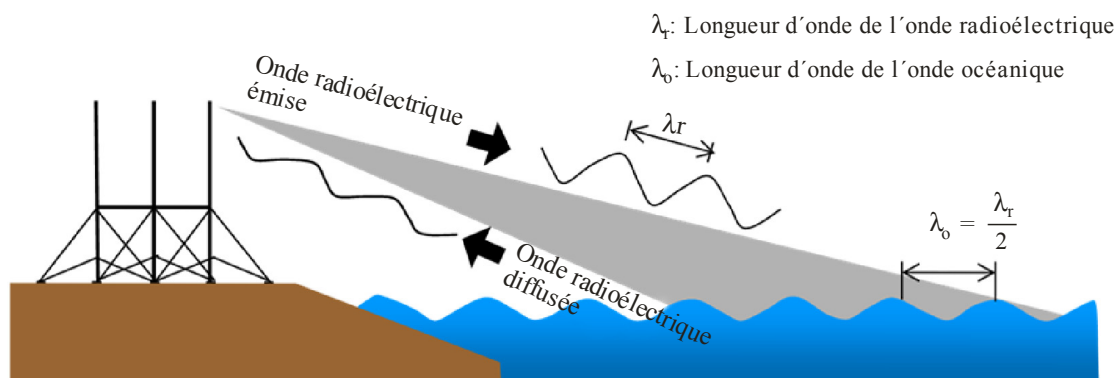
La gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz (longueur d'onde de 100 à 6 m) est très utile aux radars océanographiques utilisant la diffusion de Bragg³ pour mesurer la houle produite par le vent (voir la Fig. 4). La résolution spatiale du radar est limitée par la largeur de bande du signal; par exemple, les largeurs de bande 100 et 300 kHz donnent des résolutions de 1,5 km et 500 m respectivement⁴.

³ Lorsque la longueur d'onde émise vers la surface est égale à la moitié de la longueur d'onde de la vague océanique de surface, un signal de forte intensité est réfléchi dans la direction du radar.

⁴ La résolution L , la vitesse de la lumière c ($= 300\,000$ km/s) et la largeur de bande fc sont liées par la relation $fc = c/2L$.

FIGURE 4

Schéma de la propagation d'une onde radioélectrique et de la diffusion de Bragg



M.1874-04

Ces systèmes ont plusieurs fonctions: obtenir des informations en continu et en temps réel pour les opérations liées à l'environnement (collecte des polluants et contrôle de la pollution, etc.), offrir des services de prévention des catastrophes naturelles (détection des tsunamis, etc.), offrir des services de sécurité maritime (observation de l'état de la mer par la surveillance des courants océaniques, etc.). Ces fonctions sont réalisées grâce à des radars océanographiques.

Les gammes de fréquences utilisées pour la collecte des données sont dictées par les paramètres physiques mesurés par les radars océanographiques et par les impératifs de qualité de fonctionnement associés. Les radars océanographiques utilisés pour l'observation des océans mesurent les courants et l'état de la mer à partir de la rugosité de la surface de l'océan. Lorsque l'espacement entre les vagues à la surface de l'océan est égal à une demi-longueur d'onde du signal émis par le radar, un signal de forte intensité est réfléchi dans la direction du radar. Ce phénomène est connu sous le nom de diffusion de Bragg. La gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz est d'une grande utilité pour les radars d'observation océanographique, car la houle est toujours observable lorsque l'espacement entre les vagues est en adéquation avec la fréquence opérationnelle du radar. La résolution temporelle maximale sert à la prévention des catastrophes naturelles, alors que la résolution spatiale maximale sert aux opérations liées à l'environnement. De plus, la mesure du décalage Doppler des signaux réfléchis permet aux opérateurs de connaître d'autres propriétés de l'état de la mer et des courants.

Deux grandes techniques d'émission sont utilisées dans les radars océanographiques: les impulsions de type à ondes entretenues et les impulsions comprimées de type à ondes entretenues modulées linéairement en fréquence. Le Tableau 1 énumère les paramètres correspondant à un radar océanographique type.

TABLEAU 1

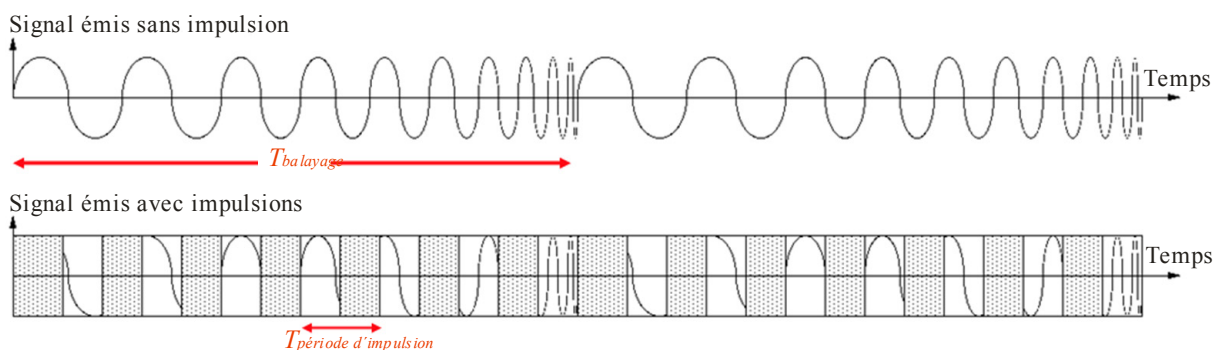
Liste des paramètres d'un signal de radar océanographique type

Fréquence centrale (MHz)	Largeur de bande du balayage en fréquence (kHz)	Durée de balayage en fréquence (T_{balayage}) (s)	Période de l'impulsion ($T_{\text{période de l'impulsion}}$) (μs)	Rapport cyclique (%)
4,53	25,6	1	1 946	50
13,46	49,4	0,5	669	50
24,65	101	0,5	486	50

La Fig. 5 illustre la structure du signal émis par des radars océanographiques types. Le tracé du haut représente un signal à ondes entretenues modulé en fréquence; celle du bas, un signal commandé par porte.

FIGURE 5

Structures des ondes océanographiques types



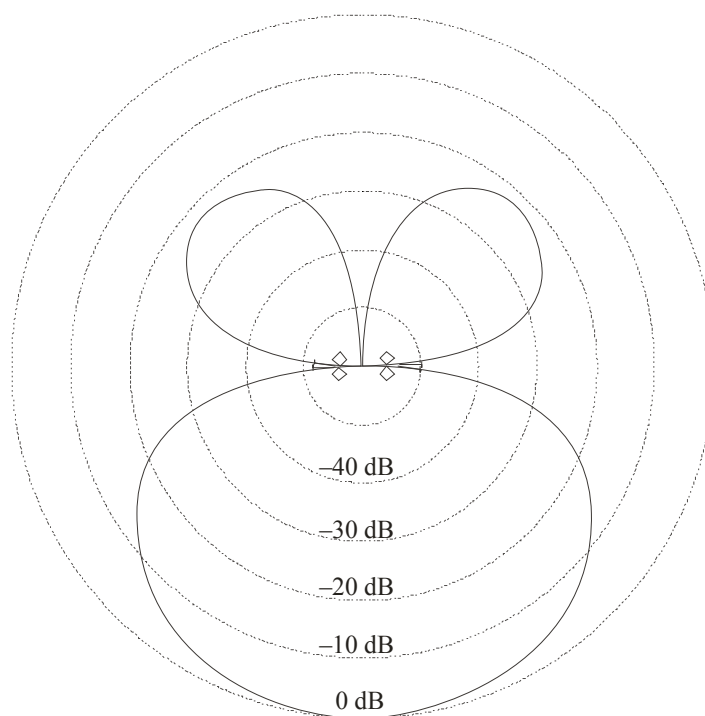
M.1874-05

3 Antennes de radars océanographiques

Les systèmes radar d'observation des océans utilisent divers types d'antenne. Certains utilisent une antenne Yagi à trois éléments; d'autres un réseau à commande de phase permettant d'effectuer un balayage dans la direction azimutale à l'aide de plusieurs ensembles d'antennes d'émission de type Yagi, limitant ainsi la zone géographique de propagation du signal radar océanographique. Les Fig. 6, 7 et 8 illustrent plusieurs diagrammes types d'antenne de radar océanographique.

FIGURE 6

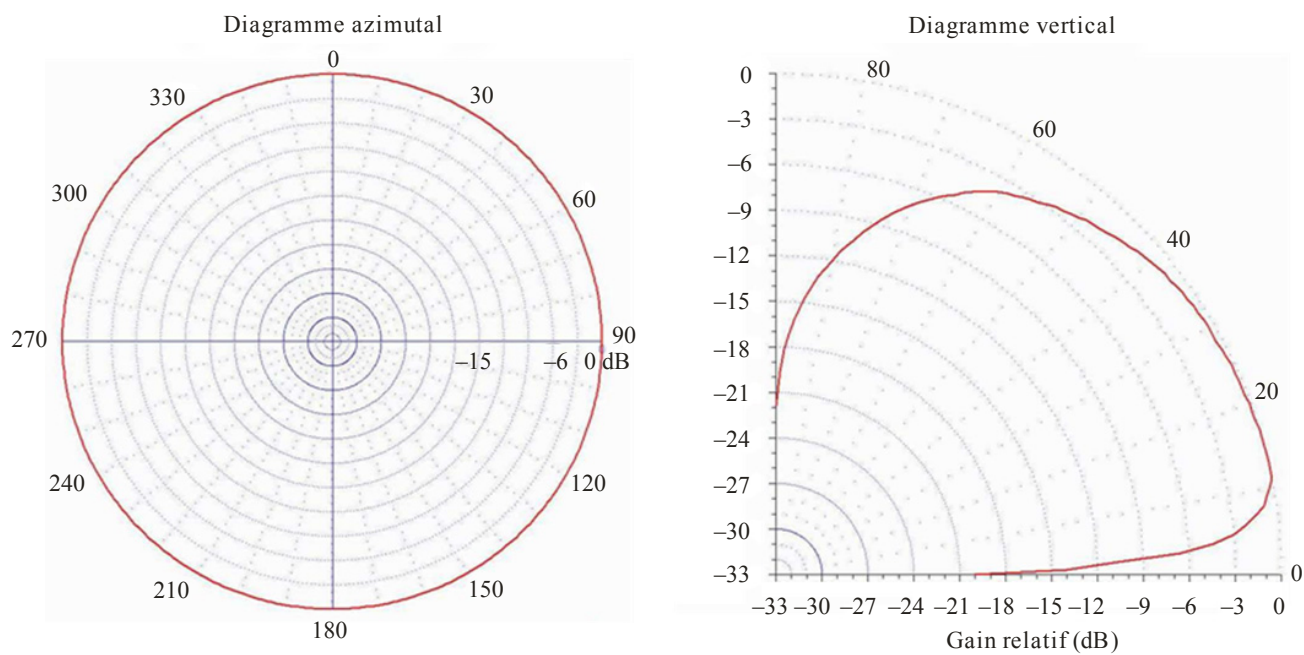
**Diagramme type d'antenne de radar océanographique
(réseau de quatre antennes unipolaires verticales)**



M.1874-06

FIGURE 7

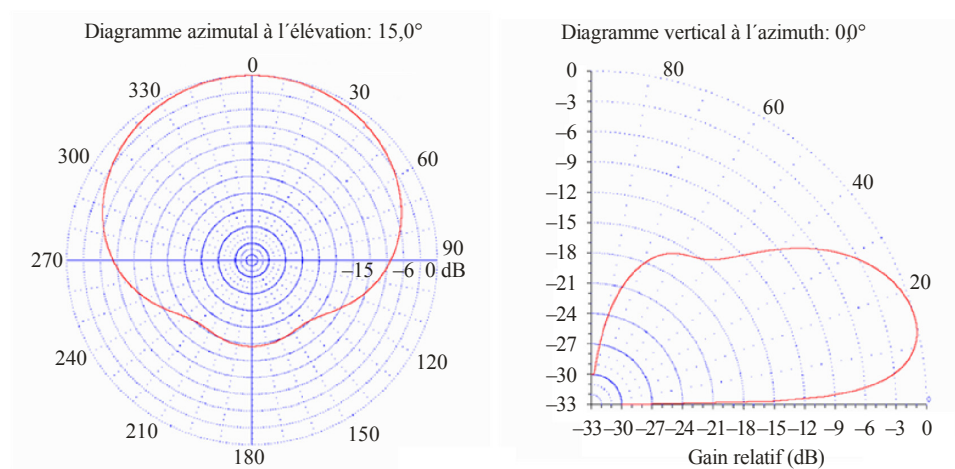
**Diagramme type d'antenne de radar océanographique
(équidirective; gauche: azimutal, droite: vertical)**



M.1874-07

FIGURE 8

Diagramme type d'antenne de radar océanographique
(directive, Yagi à trois éléments; gauche: azimutal, droite: vertical)



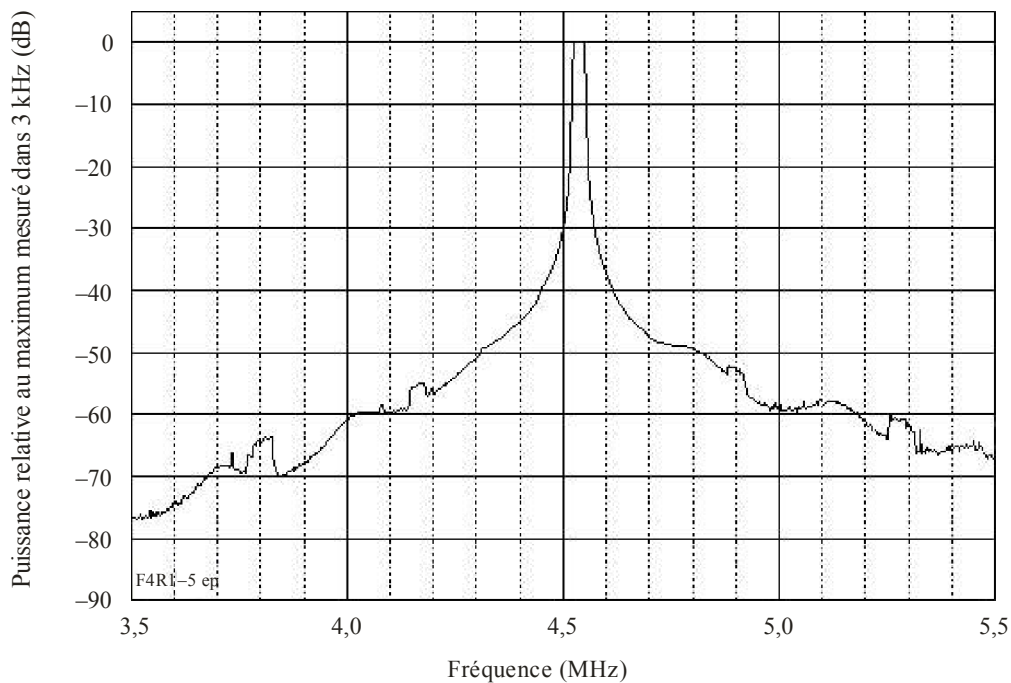
M.1874-08

4 Emission

Les Fig. 9 et 10 illustrent des émissions types de radar océanographique fonctionnant à 4,5 MHz et 24 MHz.

FIGURE 9

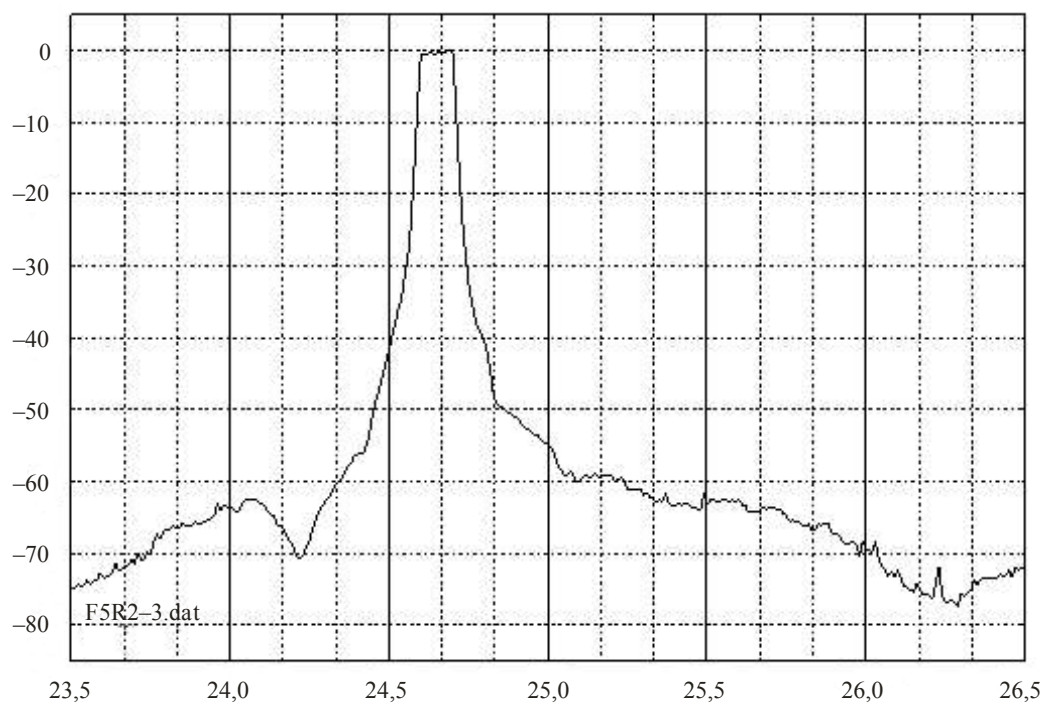
Emission d'un radar océanographique fonctionnant à 4,5 MHz



M.1874-09

FIGURE 10

Emission d'un radar océanographique fonctionnant à 24 MHz



M.1874-10

5 Caractéristiques système

Les Tableaux 2 à 4 récapitulent les caractéristiques RF de systèmes radar océanographiques représentatifs utilisés pour la surveillance des océans à des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz.

TABLEAU 2

**Caractéristiques de radars océanographiques génériques de surveillance des océans
utilisant une onde entretenue interrompue modulée en fréquence (FMICW)**

Caractéristique	Système 1 5 MHz	Système 2 13 MHz	Système 3 25 MHz	Système 4 42 MHz
Fonction	Mesures océanographiques à longue portée	Mesures océanographiques standard	Mesures océanographiques à haute résolution	
Portée (des mesures) opérationnelle maximale ⁽¹⁾	170-200 km (moyenne en journée) ⁽²⁾	60-90 km (moyenne en journée) ⁽²⁾	30-50 km (moyenne en journée) ⁽²⁾	15-25 km (moyenne en journée) ⁽²⁾
Intervalle de résolution en portée, réglable par l'utilisateur	3-12 km ⁽³⁾	2-3 km ⁽³⁾	0,3-2 km ⁽³⁾	0,3-1 km ⁽³⁾
Largeur de bande de balayage en fréquence type	25 kHz ⁽³⁾	50 kHz ⁽³⁾	100 kHz ⁽³⁾	125 kHz ⁽³⁾
Intervalle de fréquences ⁽⁴⁾	4-6 MHz ⁽⁴⁾	12-14 MHz ⁽⁴⁾	24-27 MHz ⁽⁴⁾	40-44 MHz ⁽⁴⁾
Puissance de crête type utilisée Capacité maximale du système – Puissance maximale à l'entrée de l'antenne	50 W 80 W			50 W 80 W(100 W)
Longueurs d'impulsion (µs)	1 000-2 000	300-600		30-100
Rapport cyclique maximal	50%			
Temps de montée/descente de l'impulsion (µs)	16/32	16		8/16
Méthode de syntonisation de l'émetteur	Numérique			
Méthode de syntonisation du récepteur	Numérique			
Système de sortie	TEC à grille (opérant en classe AB)			
Stabilité de l'émetteur	0,001 ppm			

TABLEAU 2 (*suite*)

Caractéristique	Système 1 5 MHz	Système 2 13 MHz	Système 3 25 MHz	Système 4 42 MHz
Stabilité du récepteur	0,001 ppm			
Type du diagramme de l'antenne d'émission	Equidirectif (dans le plan horizontal)			
Type de l'antenne d'émission	Antenne unipolaire quart d'onde au-dessus d'un sol plan			
Polarisation de l'antenne	Verticale			
Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	8			
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en élévation	35°			
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en azimut	Equidirective			
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne d'émission	Antenne fixe			
Hauteur de l'antenne d'émission (m)	10	4	2	1,2
Type du diagramme de l'antenne de réception	Doublets électriques et magnétiques			
Type de l'antenne de réception	Deux antennes à cadres croisés et une antenne unipolaire regroupées dans un même système			
Polarisation de l'antenne de réception	Verticale			
Gain du faisceau principal de l'antenne de réception (dBi)	5			
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en élévation	45°			
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimut	Ouverture de faisceau 90-360°			

TABLEAU 2 (*fin*)

Caractéristique	Système 1 5 MHz	Système 2 13 MHz	Système 3 25 MHz	Système 4 42 MHz
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne de réception	Antenne fixe			
Hauteur de l'antenne de réception (m)	4			
Largeur de bande à 3 dB du récepteur FI (Hz)	500			
Valeur du bruit du récepteur	12 dB avec impulsions			
Signal minimum détectable	-147 dBm (BPR = 500 Hz ⁽⁵⁾) (niveau de bruit spécifié dans le système)			
Intervalle de balayage	de 0,5 à 1,0 s			
Largeur de bande des émissions 3 dB 20 dB	26 kHz 58 kHz	54 kHz 70 kHz	105 kHz 150 kHz	128 kHz 170 kHz
Suppression des harmoniques	Oui			

- (1) La portée dépend de plusieurs facteurs environnementaux: bruit externe, hauteur de la houle importante, vitesse du courant, emplacement du radar (à proximité d'un plan d'eau, d'obstacles, etc.) et fréquence d'exploitation.
- (2) La portée diminue sensiblement pendant la nuit.
- (3) Bien que la largeur de bande de balayage en fréquence soit ajustable (une largeur de bande plus importante produisant des données de meilleure résolution), les systèmes fonctionnent normalement aux largeurs de bande de balayage types spécifiées en raison de la limitation de la largeur de bande disponible et de la nécessité de coexister avec d'autres systèmes radioélectriques.
- (4) Indique l'intervalle de fréquences requis pour une qualité de fonctionnement optimale d'un point de vue scientifique. L'exploitation ne requiert pas la totalité de l'intervalle de fréquences.
- (5) BPR: bande passante de résolution

TABLEAU 3

Caractéristiques de radars océanographiques génériques utilisant une onde entretenue modulée en fréquence (FMCW)

Caractéristique	Système 5 8 MHz	Système 6 12 MHz	Système 7 16 MHz	Système 8 25 MHz	Système 9 42 MHz
Fonction	Mesures océanographiques à très longue portée	Mesures océanographiques à longue portée	Mesures océanographiques standard	Mesures océanographiques à haute résolution	Mesures à courte portée de résolution optimale
Portée (des mesures) opérationnelle maximale	150-300 km (moyenne en journée) ⁽¹⁾	100-150 km (moyenne en journée) ⁽¹⁾	50-100 km (moyenne en journée) ⁽¹⁾	30-60 km (moyenne en journée) ⁽¹⁾	10-20 km (moyenne en journée) ⁽¹⁾
Résolution en portée	3-12 km	1-3 km	1-3 km Mode haute résolution: 0,5 km	0,5-2 km Mode haute résolution: 0,25 km	150-500 m
Largeur de bande de balayage en fréquence (kHz)	50-12,5	150-50	300-50	600-75	300-1 000
Intervalle de fréquences (MHz)	6-9	11-14	14-18	24-27	40-44
Puissance moyenne à l'entrée de l'antenne (= puissance de crête)	30 W 7 W par antenne				
Largeurs d'impulsion	Pas d'impulsion				
Rapport cyclique maximal	Onde entretenue				
Temps de montée/de descente des impulsions	Onde entretenue				
Méthode de syntonisation de l'émetteur	Numérique (synthèse numérique directe)				
Méthode de syntonisation du récepteur	Numérique (synthèse numérique directe)				
Système de sortie	A semi-conducteur, bipolaire (opérant en classe AB)				

TABLEAU 3 (*suite*)

Caractéristique	Système 5 8 MHz	Système 6 12 MHz	Système 7 16 MHz	Système 8 25 MHz	Système 9 42 MHz
Stabilité de l'émetteur	0,1 ppm/an				
Stabilité du récepteur	0,1 ppm/an				
Type du diagramme de l'antenne d'émission	Directif > 90% de l'énergie dans une largeur de faisceau de $\pm 60^\circ$				
Type de l'antenne d'émission	Réseau rectangulaire à 4 antennes bipolaires verticales 0,5 $\times$ 0,15 longueur d'onde				
Polarisation de l'antenne	Verticale				
Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	de 5 à 8				
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en élévation	de 25 à 35°				
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en azimuth	120°				
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne d'émission	Antenne fixe				
Hauteur de l'antenne d'émission (m)	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Type du diagramme de l'antenne de réception	Directif avec ouverture de faisceau de $\pm 3^\circ$ à $\pm 15^\circ$				
Type de l'antenne de réception	Réseau d'antennes unipolaires (de 4 à 16 antennes unipolaires)				
Polarisation de l'antenne de réception	Verticale				
Gain du faisceau principal de l'antenne de réception (dBi)	de 10 à 18				

TABLEAU 3 (*fin*)

Caractéristique	Système 5 8 MHz	Système 6 12 MHz	Système 7 16 MHz	Système 8 25 MHz	Système 9 42 MHz
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en élévation	35°				
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimuth	de 6° à 30° en fonction de la taille du réseau				
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne de réception	Antenne fixe				
Hauteur de l'antenne de réception (m)	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Largeur de bande à 3 dB de la FI du récepteur	Pas de FI. La largeur de bande en bande de base est de 1,5 kHz				
Facteur de bruit du récepteur (dB)	8				
Signal minimum détectable	-142 dBm (BPR ⁽²⁾ = 1 500 Hz) (niveau de bruit spécifié dans le système)				
Largeur de bande instantanée	3 dB 20 dB 60 dB	0,2 kHz 0,6 kHz 30 kHz			
Suppression des harmoniques (dBc)	< -60				
Intervalle de balayage	de 200 à 500 ms	de 130 à 500 ms		de 130 à 250 ms	

⁽¹⁾ La portée diminue sensiblement pendant la nuit.

⁽²⁾ BPR: bande passante de résolution

TABLEAU 4

Caractéristique	Système 10 9,2 MHz	Système 11 24,5 MHz	Système 12 24,5 MHz	Système 13 41,9 MHz
Fonction	Mesures océanographiques à longue portée	Mesures océanographiques standard		Mesures océanographiques à haute résolution
Portée (des mesures) opérationnelle maximale (km)	200-300	50-70		20-25
Résolution en portée (km)	6,8	1,5		0,5
Largeur de bande de balayage en fréquence (kHz)	22	100		300
Intervalle de fréquences (MHz)	9,2	24,5		41,9
Puissance de crête à l'entrée de l'antenne	1 kW	100 W	200 W	100 W
Largeur d'impulsion (µs)	1 330	488		244-280
Rapport cyclique maximal (%)	50			
Temps de montée/de descente des impulsions	Lissé ⁽¹⁾			
Méthode de syntonisation de l'émetteur	Numérique			
Méthode de syntonisation du récepteur	Numérique			
Système de sortie	TEC à grille (opérant en classe AB)			
Stabilité de l'émetteur	0,03 ppm/an			
Stabilité du récepteur	0,03 ppm/an			
Type du diagramme de l'antenne d'émission	Directive			
Type de l'antenne d'émission	Yagi à 3 éléments	8 ensembles Yagi à 3 éléments	Yagi à 3 éléments	
Polarisation de l'antenne	Verticale			

TABLEAU 4 (*suite*)

Caractéristique	Système 10 9,2 MHz	Système 11 24,5 MHz	Système 12 24,5 MHz	Système 13 41,9 MHz
Gain du faisceau principal de l'antenne (dBi)	6	15	6	
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en élévation	30°	25°		
Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en azimut	120°	15°	120°	
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne d'émission	Antenne fixe	Réseau d'antennes fixes à commande de phase 60 min par 12 directions	Antenne fixe	
Hauteur de l'antenne d'émission ⁽²⁾ (m)	10	2-14		
Type du diagramme de l'antenne de réception	Directive			
Type de l'antenne de réception	16 ensembles Yagi à 2 éléments	8 ensembles Yagi à 3 éléments		
Polarisation de l'antenne de réception	Verticale			
Gain du faisceau principal de l'antenne de réception (dBi)	16	15		
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en élévation	30°	25°		
Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimut	8-10°	15°		

TABLEAU 4 (*fin*)

Caractéristique	Système 10 9,2 MHz	Système 11 24,5 MHz	Système 12 24,5 MHz	Système 13 41,9 MHz
Fréquence de balayage horizontal de l'antenne de réception	Antenne fixe DBF ⁽³⁾	Réseau d'antennes fixes à commande de phase 60 min par 12 directions	Antenne fixe DBF ⁽³⁾	
Hauteur de l'antenne de réception ⁽²⁾ (m)	10	2-14		
Largeur de bande à 3 dB du récepteur FI (Hz)	200			
Valeur du bruit du récepteur	17 dB avec impulsions	12 dB avec impulsions		13 dB avec impulsions
Signal minimum détectable	−157 dBm (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz)	−162 dBm (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz)		−161 dBm (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz)
Largeur de bande des émissions (kHz)	25	110		320
Suppression des harmoniques	Oui			
Intervalle de balayage	0,7 s	0,5 s		0,25 s

⁽¹⁾ Les bords des impulsions sont mis en forme de façon à maîtriser le spectre du signal. L'inclinaison de la pente est déterminée indirectement par le spectre.

⁽²⁾ Hauteur du point d'alimentation à l'entrée de l'antenne par rapport au niveau du sol.

⁽³⁾ DBF: à mise en forme numérique (*digital beam forming*).

⁽⁴⁾ BPR: bande passante de résolution.