

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1874-1
(02/2013)

**Caractéristiques techniques et
opérationnelles des radars
océanographiques fonctionnant dans des
sous-bandes de la gamme des fréquences
comprises entre 3-50 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, 2014

© UIT 2014

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.1874-1

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

(Question UIT-R 240/5)

(2009-2010-2013)

Domaine d'application

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 la CMR-12 a attribué plusieurs bandes de fréquences entre 3 et 50 MHz aux fins de l'exploitation de ces radars;
- 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 systèmes radar pour l'observation des océans est normalement déterminée par des impératifs de qualité de fonctionnement, de fonctionnalités et de disponibilité des données,

reconnaissant

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

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

Annexe

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, le transport des sédiments ainsi que les tsunamis et la réponse de résonance des ondes de surface associées (voir l'Appendice). 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 oeuvre 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

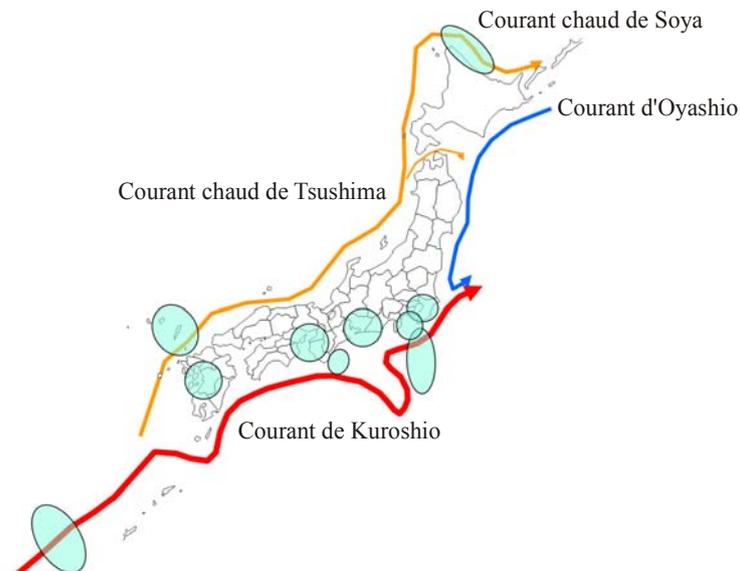
Exemple de courants de surface observés par des radars océanographiques du système de surveillance de la baie de Tokyo exploité par le Ministère du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme, Japon



M.1874-01

FIGURE 2

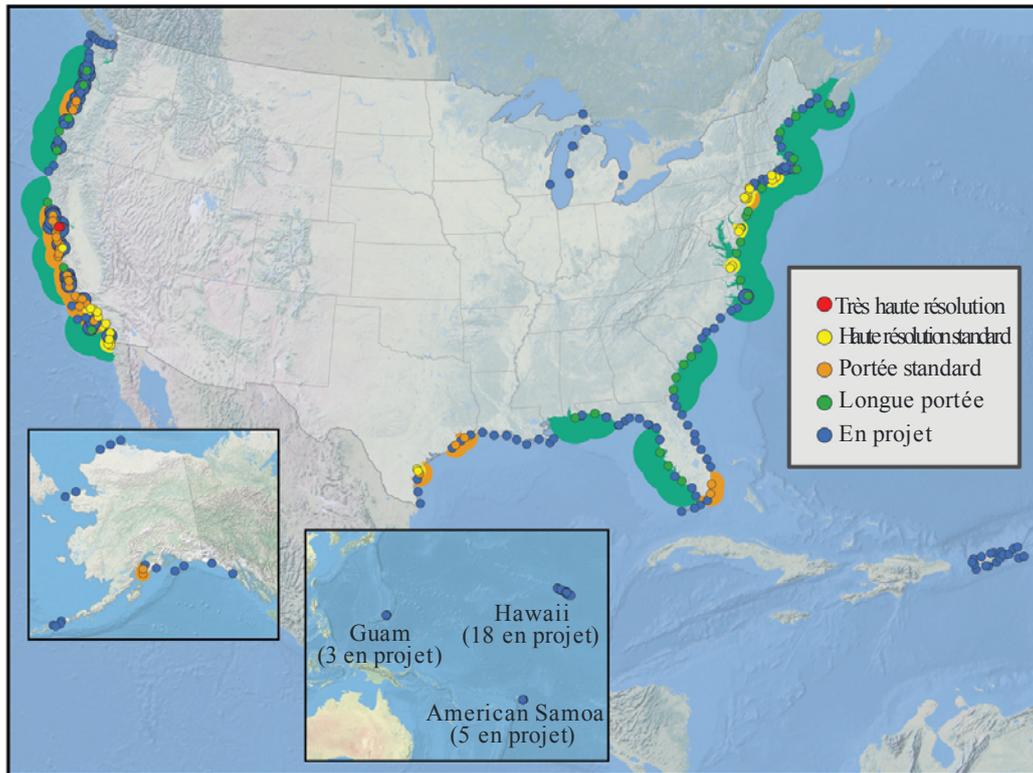
Radars océanographiques au Japon
(pour chaque site radar fixe, les zones d'observation sont indiquées)



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

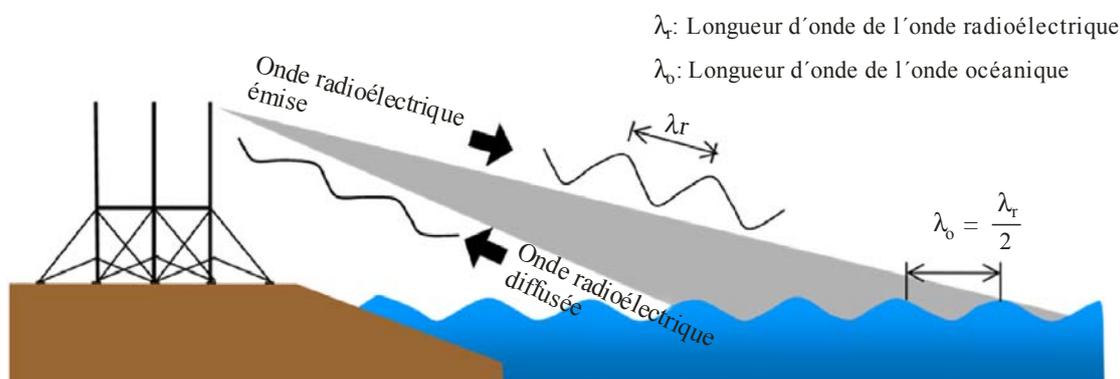
La gamme des fréquences comprises entre 3 et 50 MHz (longueur d'onde de 100 à 6 m) est très utile aux radars océanographiques utilisant la diffusion de Bragg³ pour mesurer la houle produite par le vent (voir la Fig. 4). La résolution spatiale du radar est limitée par la largeur de bande du signal; par

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.

exemple, les largeurs de bande 100 et 300 kHz donnent des résolutions de 1,5 km et 500 m respectivement⁴.

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.

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 $fc = c/2L$.

TABLEAU 1

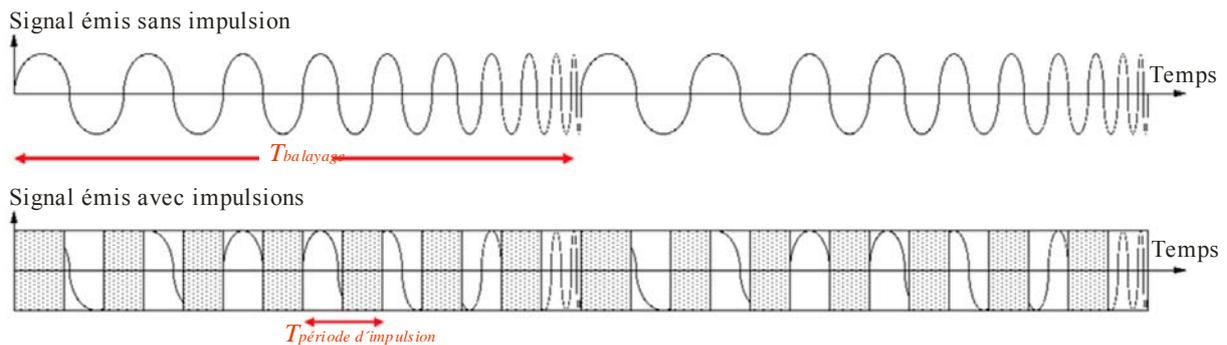
Liste des paramètres d'un signal de radar océanographique type

| 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



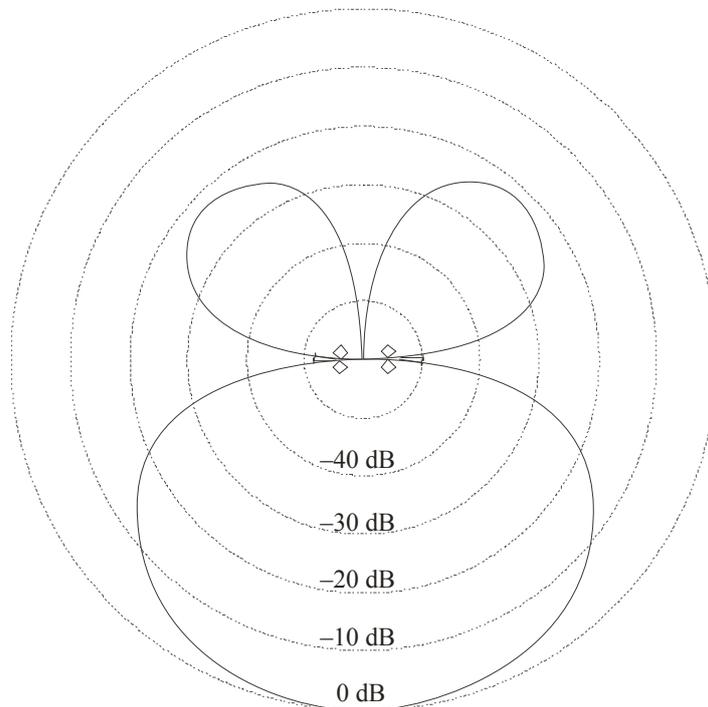
M.1874-05

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

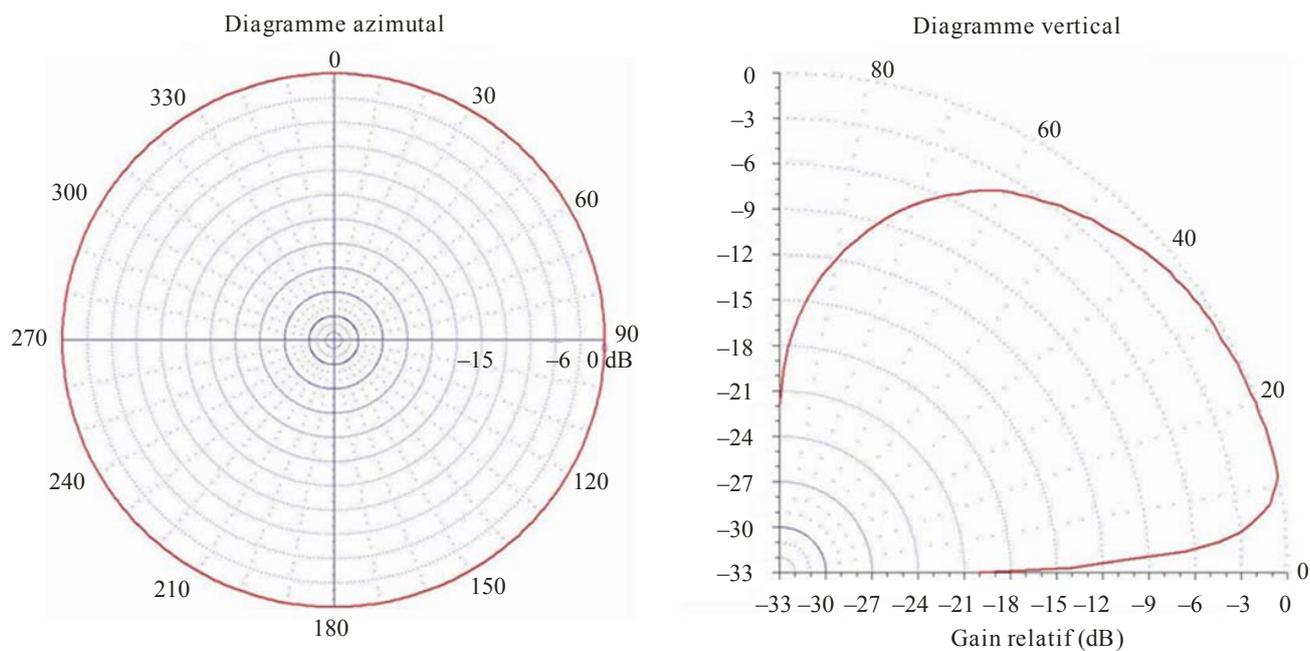
Diagramme type d'antenne de radar océanographique
(réseau de quatre antennes unipolaires verticales)



M.1874-06

FIGURE 7

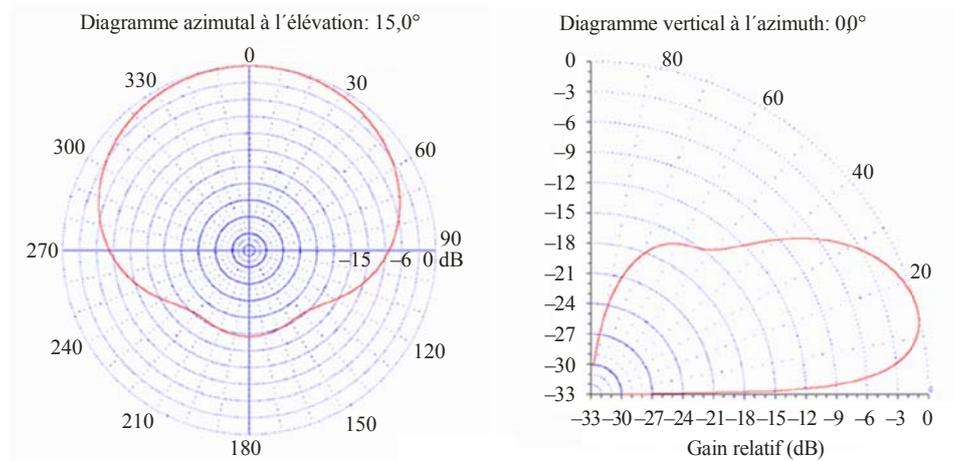
Diagramme type d'antenne de radar océanographique
(équidirective; gauche: azimutal, droite: vertical)



M.1874-07

FIGURE 8

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



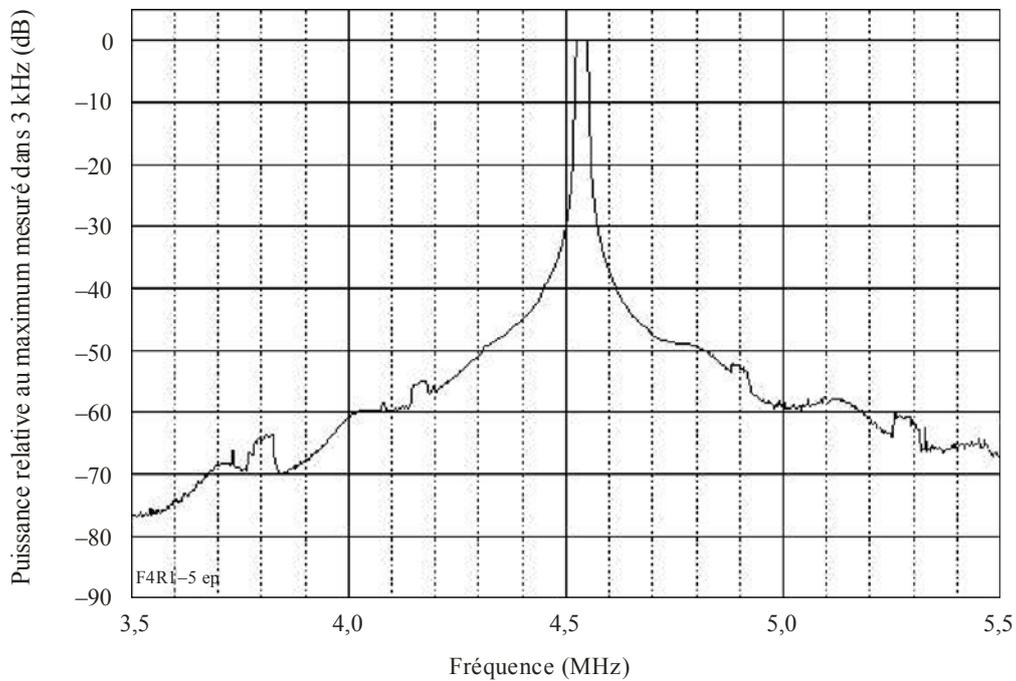
M.1874-08

4 Emission

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

FIGURE 9

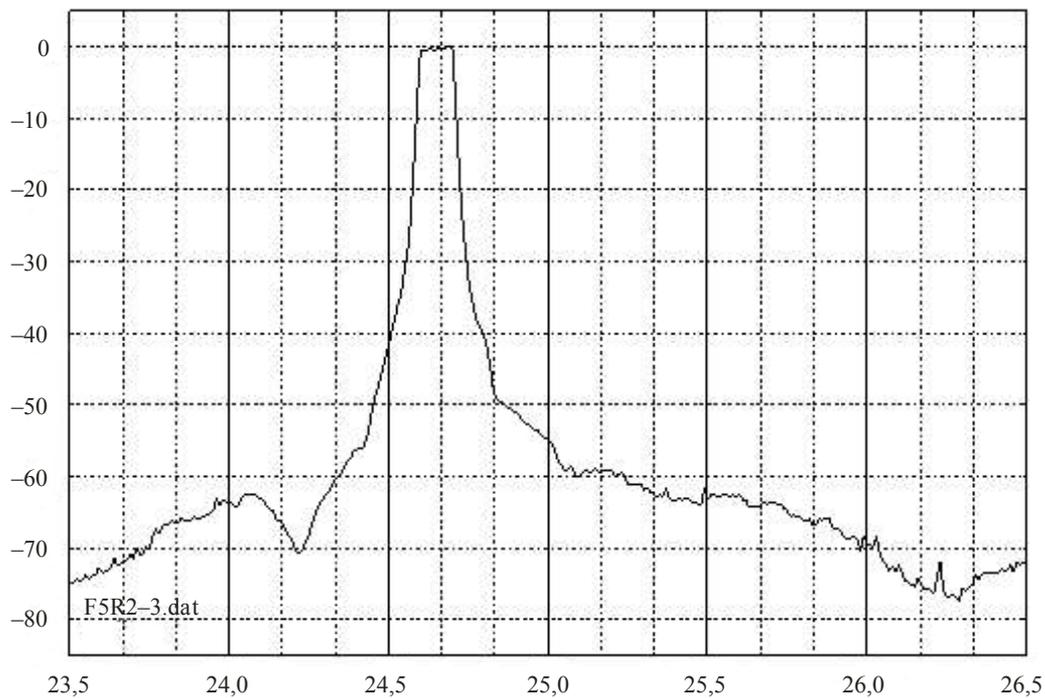
Emission d'un radar océanographique fonctionnant à 4,5 MHz



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 | Unité | 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⁾ | km | 170-200 (moyenne en journée) ⁽²⁾ | 60-90 (moyenne en journée) ⁽²⁾ | 30-50 (moyenne en journée) ⁽²⁾ | 15-25 (moyenne en journée) ⁽²⁾ |
| Intervalle de résolution en portée, réglable par l'utilisateur | km | 3-12 ⁽³⁾ | 2-3 ⁽³⁾ | 0,3-2 ⁽³⁾ | 0,3-1 ⁽³⁾ |
| Largeur de bande de balayage en fréquence type | kHz | 25 ⁽³⁾ | 50 ⁽³⁾ | 100 ⁽³⁾ | 125 ⁽³⁾ |
| Intervalle de fréquences ⁽⁴⁾ | MHz | 4-6 ⁽⁴⁾ | 12-14 ⁽⁴⁾ | 24-27 ⁽⁴⁾ | 40-44 ⁽⁴⁾ |
| Puissance de crête type utilisée Capacité maximale du système – Puissance maximale à l'entrée de l'antenne | W | | 50 80 | | 50 80 (100) |
| 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 | ppm | 0,001 | | | |

TABLEAU 2 (suite)

| Caractéristique | Unité | Système 1 5 MHz | Système 2 13 MHz | Système 3 25 MHz | Système 4 42 MHz |
|---|--------|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Stabilité du récepteur | ppm | 0,001 | | | |
| 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 | degrés | 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 | degrés | 45 | | | |
| Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimut | degrés | 90-360 | | | |

TABLEAU 2 (fin)

| Caractéristique | Unité | 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 | dB | 12 avec impulsions | | | |
| Signal minimum détectable | dBm | -147 (BPR = 500 Hz ⁽⁵⁾) (niveau de bruit spécifié dans le système) | | | |
| Intervalle de balayage | s | de 0,5 à 1,0 | | | |
| Largeur de bande des émissions 3 dB 20 dB | kHz | 26 58 | 54 70 | 105 150 | 128 170 |
| 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 | Unité | 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 | km | 150-300 (moyenne en journée) ⁽¹⁾ | 100-150 (moyenne en journée) ⁽¹⁾ | 50-100 (moyenne en journée) ⁽¹⁾ | 30-60 (moyenne en journée) ⁽¹⁾ | 10-20 (moyenne en journée) ⁽¹⁾ |
| Résolution en portée | km | 3-12 | 1-3 | 1-3 Mode haute résolution: 0,5 | 0,5-2 Mode haute résolution: 0,25 | 0,15-0,50 |
| 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) | W | 30 7 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 | Unité | Système 5 8 MHz | Système 6 12 MHz | Système 7 16 MHz | Système 8 25 MHz | Système 9 42 MHz |
|--|--------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Stabilité de l'émetteur | ppm | 0,1/an | | | | |
| Stabilité du récepteur | ppm | 0,1/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 | degrés | 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 | degrés | de 25 à 35 | | | | |
| Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en azimut | degrés | 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 | degrés | Directif avec ouverture de faisceau de ± 3 à ± 15 | | | | |
| 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 | Unité | 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 | degrés | 35 | | | | |
| Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimut | degrés | 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 | kHz | Pas de FI. La largeur de bande en bande de base est de 1,5 | | | | |
| Facteur de bruit du récepteur | dB | 8 | | | | |
| Signal minimum détectable | dBm | -142 (BPR ⁽²⁾ = 1 500 Hz) (niveau de bruit spécifié dans le système) | | | | |
| Largeur de bande instantanée | 3 dB 20 dB 60 dB | kHz | 0,2 0,6 30 | | | |
| Suppression des harmoniques | dBc | < -60 | | | | |
| Intervalle de balayage | ms | de 200 à 500 | de 130 à 500 | | de 130 à 250 | |

(1) La portée diminue sensiblement pendant la nuit.

(2) BPR: bande passante de résolution.

TABLEAU 4

| Caractéristique | Unité | 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 | W | 1 000 | 100 | 200 | 100 |
| 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 | ppm | 0,03 /an | | | |
| Stabilité du récepteur | ppm | 0,03 /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 | Unité | 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 | degrés | 30 | 25 | | |
| Ouverture du faisceau d'antenne d'émission en azimut | degrés | 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 | degrés | 30 | 25 | | |
| Ouverture du faisceau d'antenne de réception en azimut | degrés | 8-10 | 15 | | |

TABLEAU 4 (*fin*)

| Caractéristique | Unité | 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 | dB | 17 avec impulsions | 12 avec impulsions | | 13 avec impulsions |
| Signal minimum détectable | dBm | -157 (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz) | -162 (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz) | | -161 (BPR ⁽⁴⁾ de 1 Hz) |
| Largeur de bande des émissions | kHz | 25 | 110 | | 320 |
| Suppression des harmoniques | | Oui | | | |
| Intervalle de balayage | s | 0,7 | 0,5 | | 0,25 |

⁽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.

Appendice

Etude de cas d'une application utilisant des radars océanographiques

Détection de la réponse de résonance des ondes de surface d'un tsunami

1 Aperçu

Le 11 mars 2011 à 14 h 46 JST (heure japonaise), un violent séisme de magnitude 9 s'est produit à l'est du Japon et un tsunami a ensuite frappé la côte pacifique. Nous exprimons nos sincères condoléances aux familles des victimes, et saluons l'aide et la solidarité internationales qui nous ont été apportées.

Cette brève contribution présente l'utilité des radars océanographiques dans la détection des tsunamis dans les zones côtières, et souligne l'importance de faire de nouvelles attributions au service de radiolocalisation pour les applications utilisant des radars océanographiques tout en adoptant des dispositions réglementaires appropriées pour faciliter le partage avec les services existants afin d'utiliser le spectre le plus efficacement possible et de réduire les brouillages causés aux services existants.

2 Tsunami sur la côte pacifique japonaise

Les vagues ont atteint une hauteur maximale de plus de 39 m au nord-est du Japon (Fig. 11: carte établie par le groupe d'étude mixte sur le séisme et le tsunami de 2011 dans le Tohoku, <http://www.coastal.jp/tjtj/>). La hauteur des vagues et l'ampleur des zones inondées ont battu tous les records, avec plus de 500 km² touchés.

Les vagues du tsunami ont atteint la pente du plateau continental au sud du canal de Kii, à l'ouest du Japon (Fig. 12), le 11 mars 2011 aux environs de 16 h 20 JST, soit environ une heure et demie après le séisme. Des oscillations prolongées et de grande amplitude dans le canal ont provoqué des dégâts dus aux inondations. Dans le port de Tachibana, sur la côte ouest du canal, on a observé une hauteur des inondations d'environ 3,5 m. Dans le port de Kainan (KA sur la Fig. 12), sur la côte est du canal, la hauteur maximale des vagues d'environ 2,6 m a été observée environ quatre heures et demie après l'arrivée de la première vague du tsunami, comme indiqué sur la Fig. 13.

3 Système utilisé

La détection a été effectuée par un radar océanographique conforme au système 12 décrit dans la présente Recommandation. Ce radar est équipé d'un système d'antenne directif (constitué d'une antenne d'émission et de huit antennes de réception Yagi à 3 éléments) avec formation numérique du faisceau. La résolution en azimut est de 7,5 degrés pour un angle de couverture de ± 45 degrés. Le système utilise une onde entretenue interrompue modulée en fréquence (FMICW) avec une fréquence centrale de 24,515 MHz et une largeur de bande de balayage de 100 kHz, d'où une résolution en distance de 1,5 km. Ces spécifications permettent de détecter des courants de surface avec une distribution spéciale présentant une résolution spatiotemporelle élevée.

En mode de fonctionnement normal, la carte de vitesse radiale à la surface est mesurée toutes les heures. Un mode de fonctionnement ad hoc consistant à émettre et à recevoir en permanence le signal permet d'obtenir une carte de vitesse toutes les 2 à 3 minutes. Le radar océanographique a fonctionné en mode ad hoc depuis le 11 mars à 17 heures jusqu'au 19 mars à 16 h 30 JST.

Pour l'analyse, on a utilisé non seulement le radar océanographique, mais aussi les données d'élévation de la surface de la mer obtenues dans le canal (KA et KO) et sur la pente du plateau continental (WA). Les données à KA ont été obtenues par l'Autorité japonaise d'information géospatiale. Les données à KO et à WA, obtenues par le réseau NOWPHAS (*nationwide ocean wave information network for ports and harbours*), ont été fournies par le Ministère du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme (MLIT).

4 Résultats d'observation

La première vague du tsunami a atteint WA aux environs de 16 h 20 le 11 mars. Elle a ensuite atteint KO aux environs de 17 heures et KA aux environs de 17 h 05, comme indiqué sur la Fig. 13. La hauteur de la première vague à KA (168 cm) s'explique grosso modo par la remontée de la vague venant de WA (63 cm) sur le plateau continental, tandis que la hauteur de la première vague à KO (66 cm) côté ouest du canal était pratiquement la même qu'à WA (63 cm), en raison probablement de l'effet conjugué d'une réfraction de l'onde due à la bathymétrie et d'une remontée des fonds.

A WA et à KO, la hauteur des vagues a diminué progressivement au cours du temps et était inférieure à 15 cm le 12 mars à 12 heures. En revanche, à KA, la hauteur des trois premières vagues a diminué progressivement, mais une augmentation rapide a ensuite été enregistrée à partir de la quatrième vague en raison de la résonance des ondes de surface. Une hauteur maximale de 262 cm a été observée pour la septième vague aux environs de 21 h 30 à KA. En raison de l'oscillation due à la résonance des ondes de surface à KA, on a observé une hauteur de vague supérieure à 50 cm aux environs de 12 heures le 12 mars.

Pour les trois premières vagues, pour lesquelles l'amplitude de la vitesse radiale a été la plus élevée, les phases aux distances éloignées ont précédé celles aux distances plus proches (Fig. 14). La relation entre les phases a changé progressivement après la troisième vague et on a observé un déphasage entre 20 heures et 23 heures, suivi d'une situation où la phase était la même pour toutes les distances comprises entre 1,5 et 30 km le long du faisceau radar en raison de la survenue d'une résonance des ondes de surface. Le changement de relation entre les phases est manifeste dans le diagramme de séries temporelles des vitesses radiales à HF-12K et à HF-24K (Fig. 14). Pour les trois premières vagues, la phase à HF-12K était en retard sur celle à HF-24K d'environ 4 min. Étant donné que la profondeur moyenne de l'eau entre les deux points est de 50 m, le temps de propagation des vagues du tsunami est estimé à environ 8 min, l'écart avec le retard observé laissant supposer que la direction de propagation des trois premières vagues était différente de celle du faisceau radar.

5 Conclusions

Les vagues du tsunami se sont propagées depuis la pente du plateau continental jusqu'à l'intérieur du canal de Kii sous la forme d'ondes progressives jusqu'à la troisième vague, puis les vagues ont provoqué des oscillations naturelles, qui ont été à l'origine d'oscillations secondaires dans le canal et d'inondations sur les côtes⁵.

⁵ Hinata, H. *et al.*, Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95: 268-273, 2011.

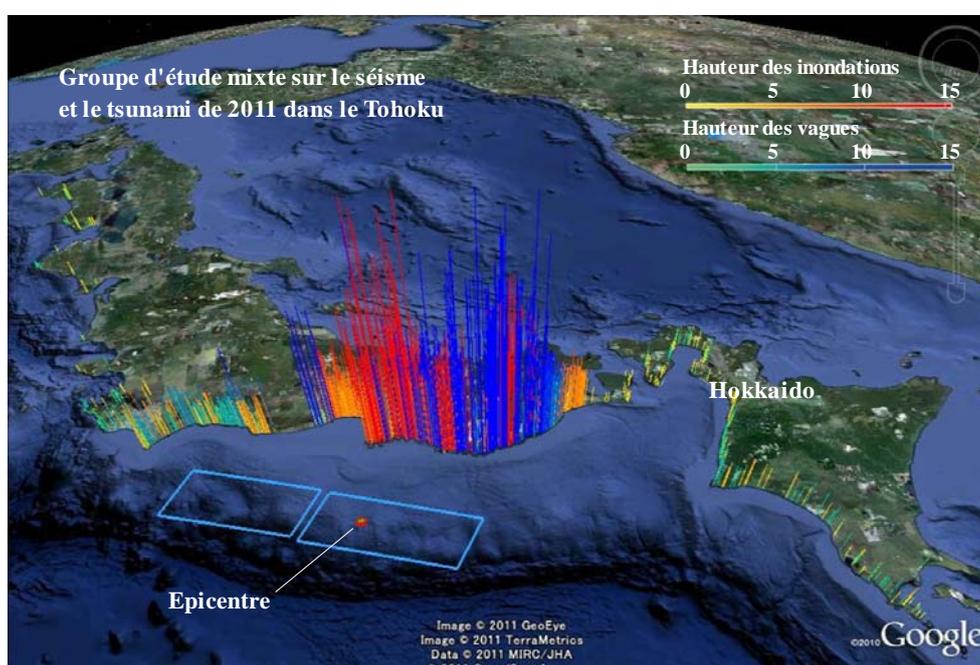
Rec. UIT-R M.1874-1

On estime que le principal avantage des radars océanographiques tient à la distance depuis la côte à laquelle les tsunamis peuvent être détectés; toutefois, des études techniques et opérationnelles supplémentaires sont nécessaires^{6, 7}.

Il ressort de cette étude que les radars océanographiques peuvent aussi servir à mesurer en détail les champs des courants de surface avec une résolution spatiotemporelle élevée afin de comprendre les processus détaillés de réponse de résonance des ondes de surface des tsunamis dans les canaux. Etant donné que cette réponse est susceptible de provoquer des vagues plus hautes que les vagues initiales, il s'agit d'une autre question importante à prendre en considération pour être à même d'affronter des catastrophes inattendues.

FIGURE 11

Carte montrant la hauteur des vagues et celle des inondations, établie par le groupe d'étude mixte sur le séisme et le tsunami de 2011 dans le Tohoku (<http://www.coastal.jp/ttjt/>)



M.1874-11

⁶ Lipa *et al.*, Japan Tsunami Current Flows Observed by HF Radars on Two Continents, *Remote Sens.*3: 1663-1679, 2011.

⁷ HELZEL Messtechnik GmbH. WERA Ocean Rader in Chile Observed Tsunami Signatures after the Earthquake in Japan on March 11, 2011, *Press Release* on May 2011, (<http://www.helzel.com/files/432/upload/Tsunami/Press-Release-Tsunami-WERA-2011.pdf>).

FIGURE 12

Carte des systèmes radar océanographiques (carrés et triangles) et des systèmes de surveillance de l'élévation de la surface de la mer (ronds pleins) dans le canal de Kii, sur la côte ouest du Japon

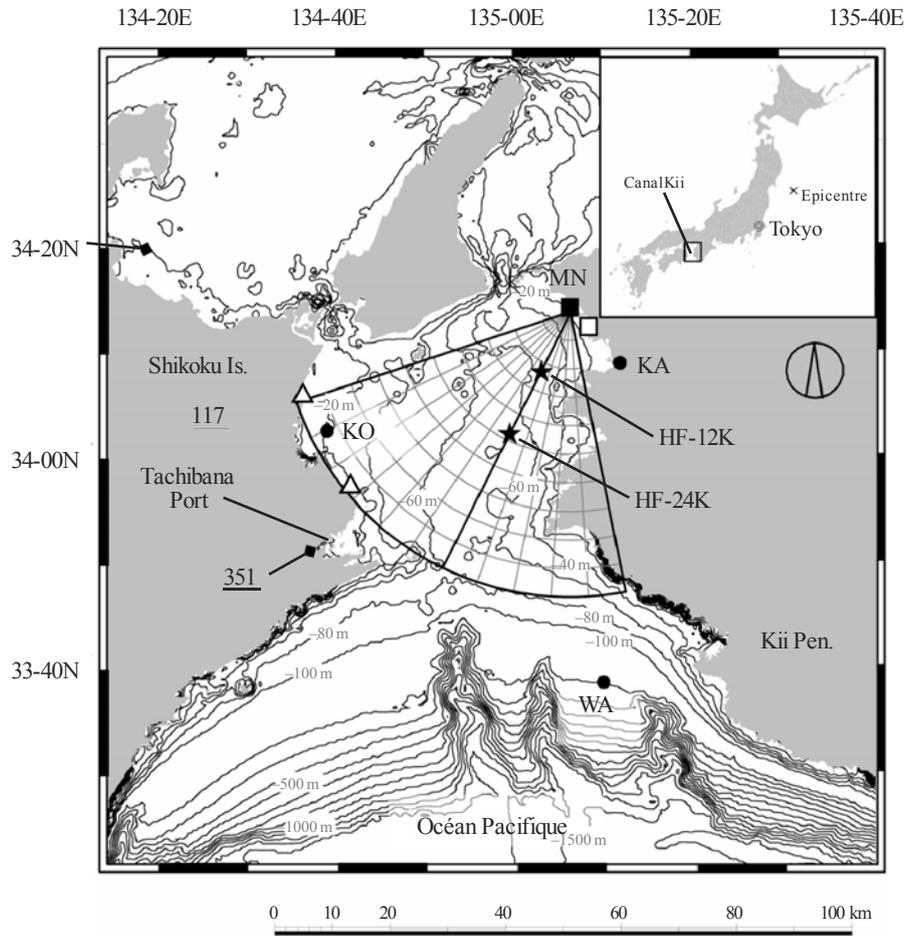
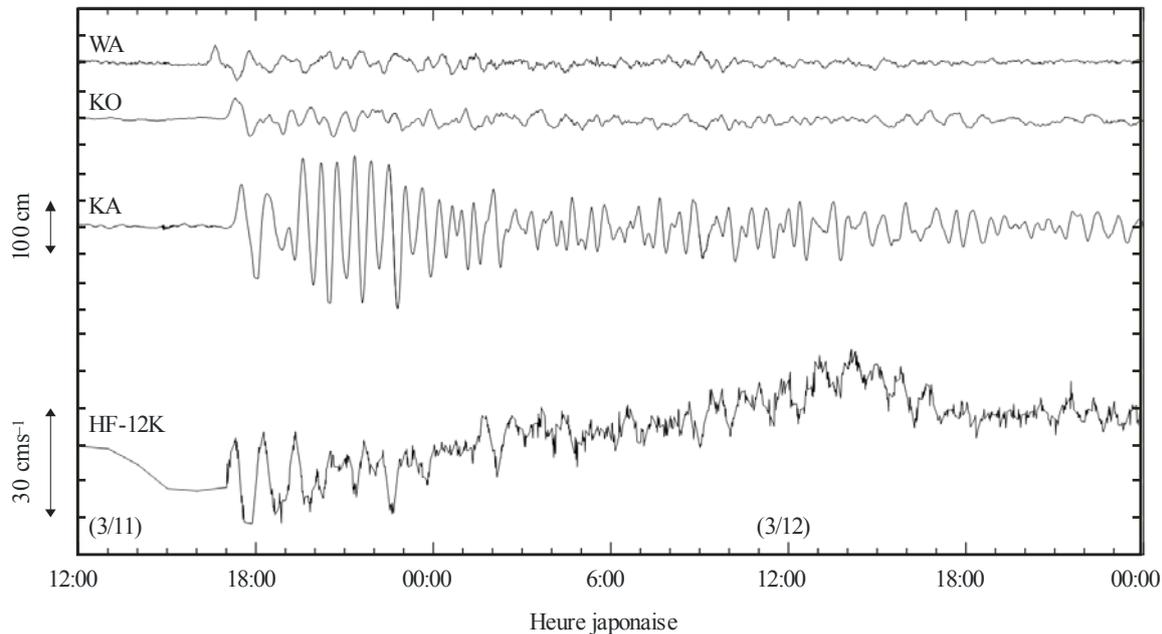


FIGURE 13

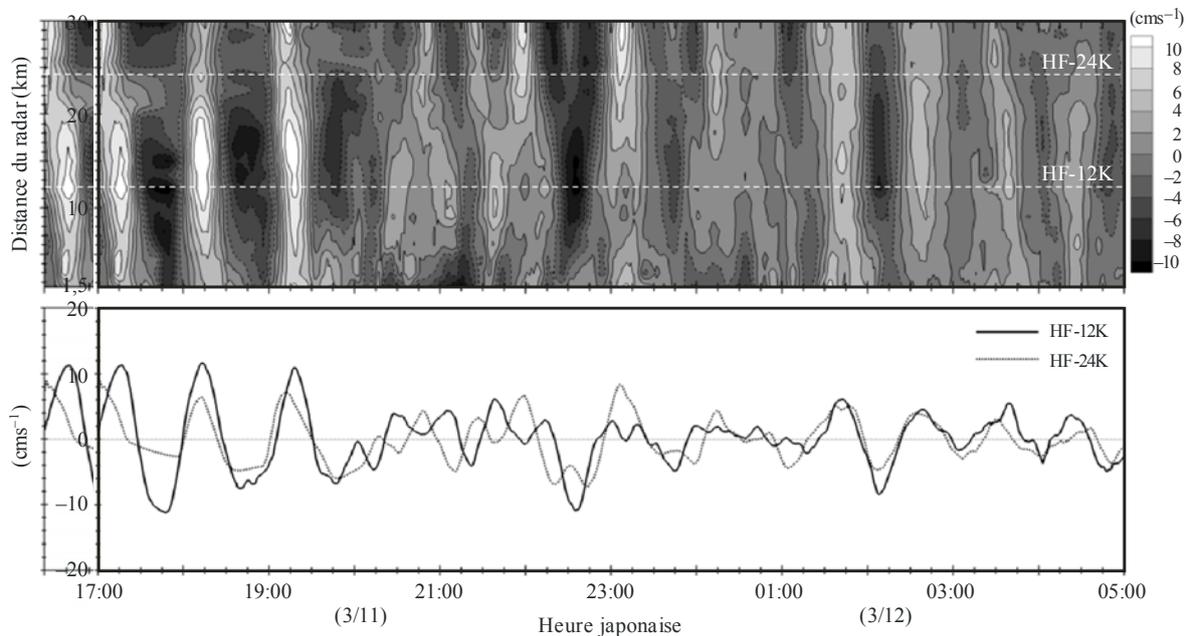
Présentation détaillée de l'élévation de la surface de la mer à WA, KO, KA et de la vitesse radiale à HF-12K (12 km du radar au large)



M.1874-13

FIGURE 14

Diagrammes distance-temps (haut) et de séries temporelles (bas) des vitesses radiales pendant 12 heures à compter du 11 mars 2011 à 17 heures



M.1874-14