

RAPPORT UIT-R M.2013

RADARS PROFILEURS DE VENT

(1997)

1 Généralités**1.1 Introduction**

Les radars profileurs de vent sont des systèmes radioélectriques qui peuvent être d'une très grande utilité dans les applications de prévision météorologique. Il est nécessaire de définir des bandes de fréquences radioélectriques appropriées à ce type de système pour tirer parti des avantages qu'il offre.

Il convient de noter qu'il existe des profileurs de vent acoustiques (radars sonores (SODAR – sonic radar) à effet Doppler) qui peuvent servir à compléter certaines mesures des SODAR Doppler de très faible altitude, sans toutefois pouvoir se substituer à ces radars.

D'une part, il est nécessaire d'exploiter les systèmes radar de prévision météorologique dans les bandes de fréquences attribuées au service de radiolocalisation et/ou au service des auxiliaires de la météorologie, de protéger les opérations actuellement effectuées dans ces bandes et d'assurer la compatibilité avec les services fournis dans les bandes adjacentes. Mais d'autre part, l'utilisation des bandes de fréquences exploitées par d'autres services de radiocommunication pourrait être envisagée si cela est acceptable au niveau du partage des fréquences.

Il est nécessaire de bien comprendre le concept des radars profileurs de vent ainsi que leur comportement dans l'environnement électromagnétique pour définir les diverses options en matière de compatibilité et/ou de partage.

Les paragraphes suivants traitent des exigences relatives aux radars profileurs de vent et présentent une description générale de ces systèmes, ainsi que de leur comportement type dans un environnement électromagnétique.

1.2 Besoins de l'utilisateur concernant les données fournies par les radars profileurs de vent

Du fait de l'évolution des prévisions météorologiques, il est actuellement nécessaire d'obtenir sur le vent des données fréquentes, rapprochées, de bonne qualité et d'une plus grande précision dans les zones situées entre la surface de la Terre et une altitude élevée dans l'atmosphère. Les données fournies principalement par des instruments installés à bord de ballons, des dispositifs de mesure par satellite et des systèmes de signalisation automatiques aéroportés ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins des modèles atmosphériques informatisés, qui demandent une résolution de plus en plus grande, ainsi qu'aux besoins des systèmes de prévision avec interaction homme-machine. La capacité des nouveaux modèles et des systèmes interactifs mis en application à la fin de la présente décennie à améliorer les services de prévision météorologique et d'alerte météorologique grave sera grandement limitée sans une substantielle amélioration de la résolution des données sur le vent.

A l'échelle planétaire, les modèles atmosphériques numériques produisant des prévisions sur une période comprise entre trois et dix jours nécessitent des données sur la haute atmosphère dans des zones étendues du globe. Dans les régions éloignées en particulier, les radars profileurs de vent fonctionnant sans surveillance peuvent offrir un moyen d'obtenir des données importantes à haute altitude pour les modèles se rapportant aux régions où les données sont rares.

Quant aux modèles numériques relatifs à des prévisions couvrant un continent ou une zone plus petite sur une durée comprise entre 3 et 48 h, les données doivent être obtenues dans l'atmosphère sur une grande distance verticale, en général de 200 m à 18 km, avec une résolution verticale de 250 m environ selon l'application. En ce qui concerne la résolution temporelle, les données doivent être obtenues une fois par heure.

Pour les prévisions météorologiques à très court terme, la surveillance de la pollution atmosphérique, l'analyse anémométrique sur le terrain et la prévision des trajectoires des traînées toxiques résultant d'accidents chimiques ou nucléaires, les alertes météorologiques graves destinées à l'aviation, les observations météorologiques, les opérations aéroportuaires et la protection du public, les météorologues doivent disposer d'informations anémométriques d'une très grande résolution temporelle et spatiale, en particulier dans la basse atmosphère. L'acquisition des données doit être effectuée de manière continue, sur une distance comprise entre le sol et une hauteur de 5 km, la résolution souhaitée pouvant parfois atteindre 30 m seulement. Les mesures seront généralement réalisées dans les régions peuplées.

Les radars profileurs de vent jouent également un rôle important dans les recherches expérimentales sur l'atmosphère. Grâce à leur capacité à mesurer le vent avec une résolution spatiale et temporelle élevée, ils se prêtent très bien à la vérification expérimentale des modèles, ainsi qu'à l'étude de la couche limite et des processus essentiels à la compréhension de l'atmosphère, notamment l'évolution du climat.

A l'heure actuelle, les organisations météorologiques ont recours à des systèmes installés sur des ballons pour mesurer les profils de vent, de température et d'humidité dans les zones situées entre le sol et une altitude élevée dans l'atmosphère. Les radars profileurs de vent existants, bien que ne mesurant pas tous ces paramètres, présentent plusieurs avantages par rapport aux systèmes installés sur des ballons en ce qui concerne les besoins susmentionnés, à savoir:

- échantillonnage quasi continu des vents;
- mesure des vents presque directement au-dessus du site;
- possibilité de mesurer la vitesse verticale de l'air;
- réalisation, avec la densité spatiale et temporelle voulue, des sondages nécessaires pour calculer les sites dérivés de manière beaucoup plus ponctuelle;
- réduction du coût par observation;
- fonctionnement automatique dans presque toutes les conditions climatiques.

Par ailleurs, il a été démontré qu'il est possible d'adapter les radars profileurs de vent pour qu'ils mesurent les profils de température lorsqu'ils fonctionnent conjointement avec un système de sondage acoustique radioélectrique (RASS – radio acoustic sounding system), ce qui permet d'obtenir des profils de température plus denses et de meilleure qualité que ceux que l'on obtient avec des techniques de mesure telles que les mesures effectuées par ballons. Aucune autre technique ne présentera d'avantages comparables dans un proche avenir, pas même celle des détecteurs montés à bord de satellites.

L'Organisation météorologique mondiale a indiqué qu'il était urgent de mettre en service de tels radars en raison de la nécessité d'améliorer la surveillance et la prévision de l'atmosphère terrestre. Pour les services météorologiques, il est de la plus haute importance de normaliser les bandes de fréquences d'exploitation afin de mettre en place un réseau opérationnel de manière pratique et rentable.

1.3 Concept des radars profileurs de vent

Les radars profileurs de vent sont des radars à impulsions à effet Doppler orientés à la verticale, capables d'analyser les signaux rétrodiffusés en vue de déterminer la vitesse de l'air le long des faisceaux. Il est possible d'obtenir les composantes horizontale et verticale du mouvement de l'air en orientant les faisceaux selon un angle de 15° par rapport au zénith.

Les radars profileurs de vent utilisent des signaux diffusés par les variations de l'indice de réfraction associés à des turbulences de l'ordre d'une demi-longueur d'onde radar (résonance de Bragg). Selon la fréquence de fonctionnement du radar, la diffusion provenant des hydrométéores peut également influencer ou même dominer les signaux de retour. Pour détecter les signaux très faibles par temps clair, il est nécessaire de recourir à des périodes de récurrence cohérentes longues, à une conception de système à faible bruit et à des lobes secondaires de faible amplitude; il faudra aussi étudier minutieusement l'implantation des radars et les brouillages potentiels.

Un dispositif connexe nouvellement mis au point, le système RASS, fournit les profils de température, généralement sans modification des caractéristiques d'émission radioélectrique du radar profileur de vent. La vitesse de propagation d'un signal acoustique à la résonance de Bragg, qui est liée à la température de l'air, est mesurée par le radar profileur de vent au moyen d'un traitement de l'effet Doppler légèrement différent.

En raison même de la nature du mécanisme de diffusion, les radars profileurs de vent doivent fonctionner à des fréquences comprises entre 40 et 1 400 MHz. Au-delà de 1 300 MHz, leur qualité de fonctionnement diminue considérablement avec l'augmentation de la fréquence. Le choix de la fréquence d'exploitation dépend de la hauteur de couverture et de la résolution requises.

1.4 Aspects relatifs au rayonnement des radars profileurs de vent

Dans la pratique, les radars profileurs de vent sont conçus pour fonctionner dans trois bandes de fréquences, aux environs de 50 MHz, de 400 MHz et de 1 000 MHz. Ils fonctionnent généralement selon deux modes (voir la Note 1), dans lesquels la résolution augmente lorsque la hauteur de couverture diminue. Le Tableau 1 énumère l'ensemble des caractéristiques des radars profileurs de vent fonctionnant dans ces trois bandes.

NOTE 1 – Dans le mode inférieur, l'impulsion est courte et l'altitude est faible, tandis que dans le mode supérieur l'impulsion est longue et l'altitude est élevée.

TABLEAU 1

Caractéristiques de fonctionnement des radars profileurs de vent

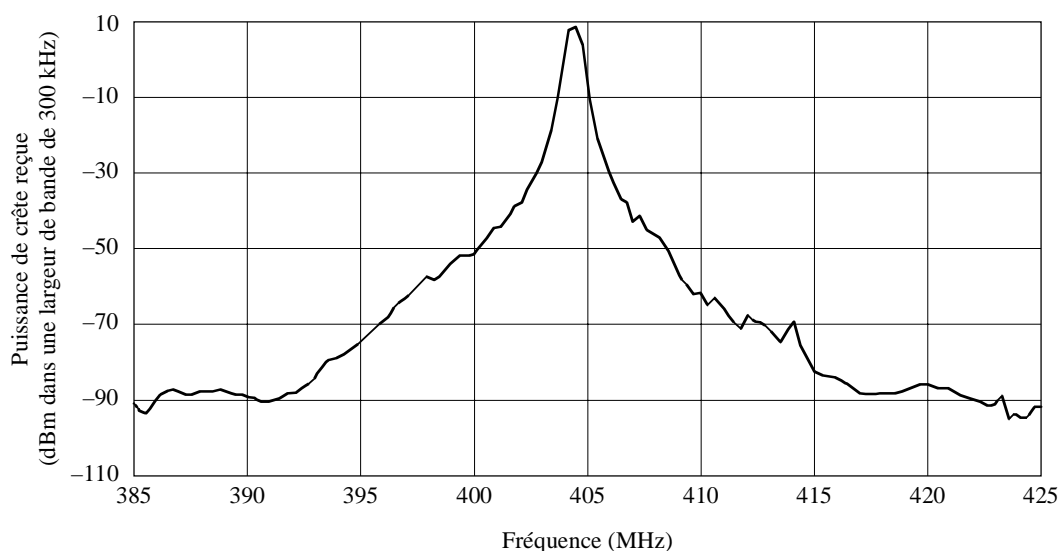
	50 MHz	400 MHz	1 000 MHz
Plage de hauteurs (km)	1-24	0,5-16	0,5-3
Pouvoir séparateur en hauteur (m)	150-1 500	150-1 200	30-150
Type d'antenne	Yagi, coaxial, colinéaire	Yagi, coaxial, colinéaire, colinéaire	Parabolique, réseau colinéaire
Dimension de l'antenne (m ²)	2 500-10 000	30-150	3-15
Puissance de crête (kW)	5-60	5-50	0,5-5
Puissance moyenne (kW)	0,5-5	0,2-2,0	0,05-0,5
Largeur de bande nécessaire (MHz)	0,2-2,2	0,3-2,2	0,7-7,3

1.4.1 Harmonisation des fréquences d'exploitation

Il est de la plus haute importance qu'une conférence mondiale des radiocommunications harmonise au niveau mondial les fréquences de fonctionnement des radars profileurs de vent et identifie le spectre utilisable, ce qui permettra de mettre au point et d'exploiter ces systèmes de manière rentable. Les radars profileurs de vent fonctionnent comme des radars Doppler à modulation d'impulsions ou en mode d'onde entretenue à modulation de fréquence. Les radars fonctionnant dans ce dernier mode ne sont pas étudiés plus en détail dans le présent Rapport en raison de l'absence d'une norme technique dans ce domaine. La Fig. 1 donne un exemple de spectre produit par un radar Doppler à modulation d'impulsion.

FIGURE 1

Caractéristiques du spectre d'un radar Doppler à modulation d'impulsion



Largeur d'impulsion: 1,67 μ s
Fréquence de répétition des impulsions: 10 kHz

Il ressort de discussions avec des fabricants que les radars profileurs de vent (voir la Note 1) peuvent être conçus de manière à fonctionner sur les fréquences attribuées avec une marge de $\pm 1\%$.

NOTE 1 – Par exemple, la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) aux Etats-Unis d'Amérique – «Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management».

Pour ce faire, de légers compromis devront être consentis en ce qui concerne la définition du bruit au niveau de l'émetteur, de l'antenne, du circulateur et du récepteur radioélectriques. La dégradation de la qualité ne devrait pas dépasser 1 dB, ce qui pourrait aisément être compensé par une légère augmentation de la puissance rayonnée.

1.4.2 Diagramme de rayonnement de l'antenne

Le signal utile réfléchi par l'air clair est très faible, d'où la nécessité d'équiper le radar profileur de vent d'un récepteur extrêmement sensible et d'une antenne à orientation verticale dont les lobes secondaires sont de faible amplitude. Le diagramme de rayonnement de l'antenne est essentiel dans l'analyse des brouillages potentiels, en particulier lorsque l'angle par rapport à l'axe du faisceau principal est élevé.

Comme le démontrent des mesures effectuées en Suisse au moyen d'un radar profileur de vent fonctionnant à 400 MHz, il est possible, en plaçant l'antenne du radar dans une dépression de terrain suffisamment profonde, de réduire jusqu'à 20 dB le rayonnement de la plupart des lobes secondaires à faible angle d'élévation. L'effet d'écran du terrain peut également se révéler efficace pour les radars fonctionnant à 50 MHz ainsi que l'expérience le montre au Japon et en Allemagne. Selon des études menées dans ce dernier pays, un obstacle spécialement conçu, placé autour d'une antenne de radar, peut affaiblir de 10 à 15 dB le rayonnement des lobes secondaires de faible angle.

1.4.3 Polarisation

La polarisation des signaux reçus à proximité du sol en provenance d'un radar profileur de vent varie de manière aléatoire en fonction du processus de diffusion. De même, la polarisation des signaux provenant directement d'un lobe secondaire sera probablement aléatoire. Par conséquent, le découplage de polarisation ne contribue en moyenne que très peu à l'amélioration des conditions de partage (3 dB, par exemple).

1.4.4 Largeur de bande occupée

Pour que les ressources limitées du spectre radioélectrique soient exploitées de manière efficace, aucun effort ne doit être épargné afin de réduire au strict minimum la largeur de bande occupée ainsi que les rayonnements non désirés.

Le spectre produit par les rayonnements à modulation d'impulsions est en grande partie déterminé par la forme des impulsions, par le choix de la chaîne d'émetteurs et par le filtrage de sortie. Il est possible de contrôler le spectre grâce à une conformation appropriée des impulsions, à la modulation de phase et à la linéarité des amplificateurs.

A cet égard, les mesures réalisées en Allemagne à l'aide d'un radar profileur de vent de 50 MHz ont montré que la conformation des impulsions permet de réduire la largeur de bande occupée d'un facteur maximum de 5 par rapport à la largeur de bande correspondant aux impulsions rectangulaires.

Il convient de noter que la conformation des impulsions produit un effet secondaire, à savoir une diminution de la puissance d'émission moyenne et de la portée effective.

Si l'on considère la largeur de bande occupée à 99% (voir le numéro S1.153 du Règlement des radiocommunications (RR)) indiquée à la Fig. 1, ce spectre représente actuellement un bon progrès technique.

La largeur de bande d'une émission à modulation de fréquence, qui dépend pour beaucoup de l'écart de fréquence, doit être réduite autant que possible compte tenu des aspects techniques et opérationnels/fonctionnels du spectre.

Dans le cadre de cette étude, on suppose que la largeur de bande occupée par un radar profileur de vent est comprise intégralement dans les bandes de fréquences proposées.

1.5 Considérations relatives au partage entre les radars profileurs de vent et d'autres systèmes dans divers services

Il est possible d'utiliser des bandes autres que celles qui sont identifiées dans le présent Rapport à condition de mener au préalable des études de compatibilité.

1.5.1 Service mobile terrestre

Le partage de fréquences est possible entre les radars profileurs de vent et le service mobile terrestre si une séparation en fréquence et en distance appropriée est respectée. Les opérations mobiles terrestres sont pour la plupart concentrées en zone urbaine. Dans certains pays, les radars profileurs de vent peuvent être situés dans des régions éloignées. Les possibilités de partage en seront augmentées, sauf dans les pays à forte densité de population. Deux cas sont à envisager en matière de partage de fréquences: le partage avec des stations de base et le partage avec des stations installées à bord de véhicules ou avec des stations portables. Le partage est plus facile dans le premier cas car les stations de base fonctionnent à des emplacements spécifiques connus, d'où la possibilité de maintenir une distance de séparation appropriée. Les stations installées à bord de véhicules ou les stations portables fonctionnent, par contre, de manière intermittente dans toute la zone couverte par les stations de base.

1.5.2 Services aéronautiques

En général, le partage avec des systèmes aéroportés demande une grande séparation en fréquence et en distance et peut donc se révéler difficile. De plus, il est nécessaire d'éviter tout brouillage préjudiciable pour les aéronefs dans les bandes utilisées pour des communications critiques telles que la radionavigation aéronautique.

Un aéronef volant à proximité d'un radar profileur de vent peut être soumis à des brouillages préjudiciables et peut également renvoyer vers le radar des signaux qui interrompent l'acquisition de données tant que l'appareil se trouve à proximité du radar. Les profileurs de vent destinés à des applications purement météorologiques ne doivent pas être placés sur la trajectoire de vol d'un aéronef. Par ailleurs, des systèmes fonctionnant à 1 000 MHz peuvent être utilisés pour la mesure des vents dans les aéroports. Dans ce cas, les avantages que présente l'observation peuvent compenser la perturbation temporaire causée par les aéronefs.

1.5.3 Services par satellite et services spatiaux

Le partage avec les services par satellite et avec les services spatiaux exige une grande séparation angulaire et un important espacement des fréquences: il peut donc se révéler difficile. En règle générale, les récepteurs utilisés dans cette catégorie de services sont très sensibles et peuvent être soumis à des brouillages et à des surcharges de la part des radars profileurs de vent, selon la position et le diagramme de rayonnement de l'antenne. A l'inverse, les profileurs de vent sont également très sensibles et leur fonctionnement peut être perturbé par les services par satellite et par les services spatiaux. Il est nécessaire d'éviter tout brouillage préjudiciable dans les opérations par satellite touchant à la sécurité humaine.

1.5.4 Service fixe

Le partage entre les radars profileurs de vent et le service fixe est possible à condition de ménager une séparation en fréquence et en distance appropriée.

Les systèmes fixes assurent normalement une transmission point à point ou point à multipoint sur les trajets de propagation troposphériques (y compris en visibilité directe). Certains systèmes fixes utilisent des antennes très directives. Les trajets de transmission sont bien définis. Un certain nombre de systèmes fixes sont transportables.

1.5.5 Service de radioastronomie

Les stations de radioastronomie sont des stations réceptrices à l'écoute d'ondes radioélectriques d'origine cosmique. Les bandes réservées à la radioastronomie sont exploitées à l'échelle internationale pour diverses activités telles que l'interférométrie à très grande ligne de base et les observations de raies spectrales. Les récepteurs utilisés dans le domaine de la radioastronomie sont extrêmement sensibles, une grande séparation en fréquence et/ou en distance par rapport aux autres services étant indispensable pour éviter les brouillages.

Par ailleurs, les utilisateurs de radars profileurs de vent qui fonctionnent dans des bandes adjacentes aux bandes utilisées dans le service de radioastronomie doivent s'assurer que ce service n'est soumis à aucun brouillage préjudiciable. Le recours à ces bandes doit être évité.

1.5.6 Service des auxiliaires de la météorologie

Ce service est utilisé dans le monde entier pour la collecte de données météorologiques destinées à la prévision du temps, aux avis de tempêtes et à la recherche. Les systèmes de collecte de données comprennent les systèmes d'imagerie par satellite et les radiosondes.

La poursuite de ballons et les télémessures obtenues par radiosondes peuvent s'effectuer de plusieurs façons. Les critères de partage doivent donc être conformes à la méthode utilisée pour recevoir les données relatives aux vents.

1.5.7 Service de radiorepérage

Les radars de radiorepérage peuvent être installés à terre, à bord de navires ou à bord d'aéronefs. Les radars à terre sont conçus pour fonctionner sur des sites permanents ou sur des sites temporaires au moyen d'un équipement transportable. Leur balayage s'effectue généralement dans des directions spécifiques au moyen d'une antenne directive. Les systèmes embarqués fonctionnent en mer, le long du littoral et dans les eaux côtières, avec un balayage de 360° dans le plan horizontal. Les radars aéroportés peuvent être utilisés partout et, des trois types de systèmes, c'est celui qui requiert la plus grande distance de séparation en fonction de l'altitude. Ces radars présentent diverses caractéristiques de balayage. Les systèmes de radionavigation ont en général une fonction liée à la protection de la sécurité humaine, ce qui peut rendre le partage de fréquences difficile.

1.5.8 Service de radiodiffusion (télévision)

En matière de compatibilité entre les radars profileurs de vent et les services de radiodiffusion télévisuelle, il doit être tenu compte des facteurs suivants:

- rapports de protection dans le même canal, dans un canal partiellement superposé et hors canal pour les différentes normes de télévision concernées;
- effets non linéaires;
- caractéristiques du site d'implantation des radars, y compris effet d'écran du terrain et affaiblissement des lobes secondaires;
- propagation, y compris facteurs environnementaux et topographiques;
- protection des signaux émis par les radars profileurs de vent dans un spectre très saturé avec de fortes émissions de puissance;
- protection des nouveaux systèmes de radiodiffusion numérique actuellement mis au point dans certains pays.

1.5.9 Service d'amateur

Comme avec les autres services de Terre, le service d'amateur peut dans certaines conditions partager des bandes de fréquences avec les radars profileurs de vent, la condition essentielle étant le maintien d'une séparation en fréquence et/ou en distance suffisante pour éviter des brouillages mutuels. Toutefois, les parties des bandes de fréquences, où les signaux sont faibles, sont utilisées pour expérimenter des modes de propagation sans visibilité directe et anormaux. Dans ces parties, c'est le niveau de bruit qui doit être limité et non le brouillage. Les radars profileurs de vent ne doivent pas fonctionner dans les parties des bandes de fréquences attribuées au service d'amateur, où les signaux sont faibles.

2 Bandes voisines de 50 MHz

2.1 Introduction

2.1.1 Utilisation des bandes voisines de 50 MHz

En raison de facteurs liés à la physique, seule la bande des 50 MHz peut être utilisée pour les mesures effectuées au-dessus de 20 km.

Les bandes voisines de 50 MHz sont idéales pour les mesures effectuées à haute altitude et ce pour deux raisons. En premier lieu, les mesures effectuées à haute altitude demandent généralement une faible résolution. En second lieu, la technique utilisée est relativement peu coûteuse, les transistors étant facilement disponibles et un grand degré de précision n'étant pas requis en matière de qualité de fabrication. L'antenne réseau occupe cependant un important espace physique, d'où une limitation de la couverture à faible altitude.

2.1.2 Caractéristiques des radars profileurs de vent de 50 MHz

La partie des ondes métriques utilisée par les radars profileurs de vent dans le monde est comprise entre 40 et 80 MHz. Les caractéristiques types de ces radars profileurs de vent sont énumérées aux § 1.4 et 1.4.2.

2.2 Compatibilité

Le présent paragraphe décrit la compatibilité entre les radars profileurs de vent et d'autres systèmes radioélectriques.

2.2.1 Introduction

Dans la plupart des pays, la plage de fréquences 40-60 MHz n'est pas attribuée au service de radiolocalisation et au service des auxiliaires de la météorologie. La bande 47-68 MHz est attribuée au service de radiodiffusion dans la Région 1. La bande 50-54 MHz est attribuée au service d'amateur dans les Régions 2 et 3 et une partie de cette bande dans la Région 1.

Au Japon, la bande voisine de 50 MHz n'est pas utilisée pour le service de radiodiffusion. Les services mobile et/ou fixe sont assurés dans la bande 54-60 MHz et sont utilisés pour les communications en cas de catastrophes.

En France, des études ont été menées afin de définir les critères de partage, entre les radars profileurs de vent et le service de télévision, de la bande de fréquences réservée à la radiodiffusion (au voisinage de 50 MHz). On exploite également dans cette bande des systèmes auxiliaires de la radiodiffusion (utilisation de microphones sans fil, reportage en extérieur ou journalisme électronique).

Diverses bandes de la plage de fréquences 40-80 MHz sont attribuées à différents services, dans certains cas par région ou par pays. Des parties de certaines bandes sont affectées à des services au moyen de renvois dans le RR. Ces services, qui ont un statut différent (par exemple, primaire ou secondaire) selon la bande, la région ou le pays, sont les suivants:

- service de radionavigation aéronautique;
- service d'amateur;
- service de radiodiffusion (y compris les applications auxiliaires à la radiodiffusion);
- service fixe (liaisons de données et de communication telles que les liaisons point à point et par impulsions météoriques);
- applications ISM (industrielles, scientifiques et médicales);
- service mobile (y compris les applications auxiliaires du service mobile);
- service de radioastronomie;
- service de radiolocalisation;
- service de recherche spatiale.

2.2.2 Conditions relatives à la compatibilité

Les conditions relatives à la compatibilité doivent être adaptées aux services concernés. Pour l'exploitation de radars profileurs de vent dans les bandes voisines de 50 MHz, il doit être tenu compte des modes de propagation ionosphérique et troposphérique, qui risquent d'entraîner un brouillage des radiocommunications par les radars profileurs de vent.

2.2.2.1 Protection du service de radiodiffusion

Les facteurs suivants doivent être définis pour la protection du service de radiodiffusion.

2.2.2.1.1 Rapports de protection dans le même canal, dans un canal à chevauchement partiel et hors canal

Dans le cas d'un canal à chevauchement partiel, les écarts entre les sous-porteuses image et le son peuvent réduire le rapport de protection. Les écarts sont fonction du système. Les rapports de protection sont déterminés par des mesures en laboratoire qui utilisent les signaux émis par le radar. Les chiffres ont été obtenus à partir d'expériences faites avec un signal de télévision de qualité L/SECAM. L'image était une mire à barres de couleur de référence. Le son était modulé au moyen d'une tonalité de 1 kHz. Le radar simulé était le radar profileur de vent de 50 MHz destiné à des applications météorologiques de routine et actuellement mis au point par l'Office français de la météorologie. La largeur d'impulsion était de 6 μ s. Le radar était simulé par un générateur de signaux suivi d'un filtre passe-bande, avec une réponse en fréquence de ± 1 MHz à 10 dB et de ± 3 MHz à 50 dB.

Plusieurs téléviseurs représentatifs de ceux qui sont actuellement utilisés en France ont été utilisés.

S'agissant des canaux partiellement superposés, les rapports de protection obtenus s'échelonnaient entre 27,9 et 55 dB et semblaient être conformes à la Recommandation UIT-R BT.655. Ces résultats doivent être confirmés par des mesures effectuées avec un vrai radar. La plage de valeurs susmentionnée peut être différente pour un autre système de télévision.

En Amérique du Nord, de récents essais réalisés sur des téléviseurs (M/NTSC) montrent que l'application généralisée d'un filtrage en peigne aux lignes de fréquence entre la porteuse vidéo et la sous-porteuse couleur des nouveaux téléviseurs ne produit pas la courbe en «W» traditionnelle des rapports de protection à l'intérieur de la bande. Cette courbe (voir la Recommandation UIT-R BT.655) est utilisée depuis de nombreuses années pour déterminer le rapport de protection requis pour le fonctionnement des porteuses dans le canal télévisuel. Les essais en laboratoire montrent en effet que les rapports de protection sont aussi restrictifs que dans le cas de porteuses avec chevauchement partiel (rapport signal utile/signal brouilleur de l'ordre de 50 dB, par exemple).

2.2.2.1.2 Effets non linéaires

Les effets non linéaires sont déterminés à partir des rapports de protection obtenus avec un radar présentant une grande séparation en fréquence par rapport au canal télévisuel. Il sera peut-être nécessaire, en utilisant plusieurs récepteurs représentatifs des nouveaux modèles, de mener d'autres études sur les effets non linéaires susceptibles de se produire.

2.2.2.1.3 Rayonnement d'harmoniques

Le rayonnement d'harmoniques du radar peut relever de la gamme des services vulnérables. Selon la situation locale, le niveau de ce rayonnement doit être mesuré et, si nécessaire, réduit au strict minimum à l'aide d'un dispositif tel que le filtre d'harmoniques.

2.2.2.1.4 Caractéristiques du site d'implantation des radars

Le diagramme de rayonnement vertical de l'antenne d'un radar indique un certain degré d'affaiblissement des lobes secondaires par rapport au faisceau principal. L'effet d'écran du terrain peut accroître l'affaiblissement au niveau du sol.

Dans les zones rurales, des antennes à gain élevé et des préamplificateurs de signaux sont utilisés pour la réception du service de radiodiffusion et doivent être pris en compte lorsque l'on détermine la sensibilité des systèmes de réception télévisuels. L'affaiblissement des lobes secondaires peut ne pas suffire pour assurer une réception télévisuelle non brouillée dans les zones rurales où la séparation en fréquence et en distance par rapport aux radars profileurs de vent est insuffisante.

Dans les régions au relief légèrement accidenté, les sites de réception d'émissions télévisées peuvent présenter un certain angle d'élévation pour lequel l'affaiblissement des lobes secondaires du radar profileur de vent est insuffisant, ce qui entraîne un brouillage de la réception des émissions. Les expériences susmentionnées, réalisées avec un radar profileur de vent destiné à des applications météorologiques de routine, montrent que la puissance reçue peut augmenter de 20 dB pour un angle d'élévation de 2° et de 52 dB pour un angle compris entre 15° et 20°. Le profil du terrain doit être pris en considération dans l'étude du partage.

Dans les régions montagneuses, l'effet d'écran diminue le signal brouilleur provenant des radars profileurs de vent, mais les signaux de radiodiffusion reçus subissent le même effet. Des précautions doivent être prises dans ce cas pour protéger le service de télévision.

2.2.2.1.5 Propagation

Voir la Recommandation UIT-R P.370 pour une description détaillée des données de propagation utilisées pour calculer l'intensité de champ des radars profileurs de vent et des stations de radiodiffusion. Des corrections doivent être appliquées lorsque la hauteur de l'antenne du radar est faible (en général entre 1 et 3 m au-dessus du sol). Il est recommandé de procéder à des mesures sur le terrain pour compléter l'étude.

2.2.2.1.6 Distance de séparation requise

Il peut être nécessaire de respecter une distance de séparation de l'ordre de 100 à 200 km pour assurer la compatibilité entre les radars profileurs de vent et le récepteur de radiodiffusion le plus proche, lorsqu'ils fonctionnent dans le même canal.

En cas de fonctionnement hors canal, la distance de séparation peut être substantiellement réduite.

2.2.2.2 Protection des radars profileurs de vent vis-à-vis du service de radiodiffusion

En France, un émetteur de télévision réglé sur la fréquence des radars profileurs de vent (45 MHz) a été installé successivement en quatre endroits (à une hauteur de 30 m au-dessus du sol), à une distance de 10 km de l'emplacement du radar.

Il a été établi que le signal radar était perturbé par l'émetteur de télévision fonctionnant à 45 MHz dès que la puissance apparente rayonnée (p.a.r.) dépassait 0,1 W à 10 km.

2.2.2.3 Techniques d'optimisation

Pour un système spécialement conçu permettant un plus grand affaiblissement, l'intensité de champ maximale admise peut être supérieure de 10 à 20 dB. Ce résultat peut être obtenu grâce à des techniques d'optimisation (pondération) de l'antenne réseau qui réduisent au maximum le niveau des lobes secondaires à de faibles angles d'élévation.

Il est possible de choisir la fréquence d'exploitation du radar profileur de vent de telle sorte qu'elle soit comprise dans l'écart entre les porteuses vidéo.

Par ailleurs, lorsqu'un radar profileur de vent est installé à un emplacement donné, il est possible de recourir à plusieurs techniques visant à minimiser les brouillages produits par les émetteurs de télévision:

- l'inclinaison des faisceaux du radar ne doit pas être réglée en direction des émetteurs de télévision;
- l'effet d'écran naturel (vallées) ou artificiel (obstacles) peut réduire l'intensité du champ électrique émanant de l'émetteur de télévision par le biais des lobes secondaires du diagramme de rayonnement de l'antenne.

2.2.2.4 Autres services

Pour le service mobile, par exemple, la compatibilité devient difficile à assurer car la position du système mobile n'est généralement pas connue. Les bandes à étudier avec une attention particulière, au plan de la compatibilité, sont celles qui correspondent aux services de radioamateur, aux observations de radioastronomie et à la radionavigation aéronautique. Pour les stations de base mobiles, une distance de séparation allant jusqu'à 200 km est nécessaire avec l'effet d'écran produit par les montagnes. Les radars profileurs de vent fonctionnant à des fréquences voisines de 49 MHz peuvent brouiller les opérations d'amateur à faibles signaux effectuées dans la bande 50-51,1 MHz si les bandes latérales des radars ne sont pas suffisamment affaiblies.

2.3 Conclusions relatives aux bandes voisines de 50 MHz

En règle générale, la gamme de fréquences 40-80 MHz peut se prêter à un partage avec les radars profileurs de vent sous réserve que les conditions suivantes soient remplies:

- la densité des radars profileurs de vent doit être relativement faible;
- la densité des stations de radiodiffusion doit être relativement faible;
- les arrangements de partage doivent viser tous les services assurés dans ces gammes de fréquences et doivent prendre en compte la protection de tous les nouveaux systèmes de radiodiffusion numérique actuellement à l'étude.

3 Bandes voisines de 400 MHz

3.1 Introduction

Les radars profileurs de vent servant à effectuer des mesures à «mésos-échelle» (espacement de l'ordre de 100 km) doivent fonctionner aux environs de 400 MHz pour répondre aux spécifications concernant la distance verticale et la résolution; on les appelle généralement radars profileurs de vent de 400 MHz. Cependant, toute fréquence comprise entre 300 et 500 MHz est diffusée de manière appropriée par les mouvements atmosphériques et peut donc fournir des profils de vent à méso-échelle. A ce stade, il convient de rappeler que les radars profileurs de vent de 400 MHz sont réputés présenter un bon rapport coût-efficacité tout en étant appropriés aux analyses et aux prévisions météorologiques.

On envisage actuellement d'installer ces systèmes dans des régions éloignées ou dans des zones urbaines. Les méthodes visant à améliorer le partage sont réalisables. Peu d'études approfondies ont été menées sur ce sujet, mais il est clair qu'il est possible d'améliorer la compatibilité de la manière suivante: choix du site approprié, utilisation d'obstacles ou de murets, neutralisation des effets de l'antenne, techniques de modulation et codage. Il convient également d'étudier d'autres facteurs tels que les caractéristiques techniques et de fonctionnement des radars profileurs de vent et d'autres systèmes, les critères de partage et le positionnement des systèmes les uns par rapport aux autres.

Pour que le coût soit le plus faible possible, il est nécessaire de réduire au strict minimum le nombre de fréquences attribuées dans cette gamme aux radars profileurs de vent.

Il semble donc approprié d'examiner la gamme 300-500 MHz dans son intégralité et d'analyser les bandes qui peuvent ou ne peuvent pas être proposées pour l'exploitation des radars profileurs de vent.

3.2 Observations concernant les différentes bandes comprises entre 300 et 500 MHz

3.2.1 Considérations générales relatives aux services mobiles

Il peut être nécessaire de ménager une distance de séparation allant jusqu'à 75 km pour que des radars profileurs de vent puissent fonctionner dans le même canal que des stations de base mobiles, avec une puissance d'émission maximale (40 kW) et un effet d'écran dû au relief montagneux. Il est possible de réduire cette distance en recourant à des atténuateurs artificiels tels que murets, obstacles, etc.

3.2.2 Bande 300-399 MHz

Cette bande est attribuée au service fixe, au service de radioastronomie, au service de radionavigation aéronautique et au service mobile. La plage entière est largement utilisée par la plupart des pays pour un grand nombre d'opérations par faisceau hertzien, air-sol-air ou par satellite, pour le contrôle du trafic aérien et pour d'autres opérations. L'encombrement de la bande et la nécessité de disposer d'un plus grand nombre de canaux dans cette bande ont entraîné une réduction de la largeur des canaux, qui est passée de 100 kHz à 50 kHz et récemment à 25 kHz. L'encombrement de la bande et la nature des nombreuses stations qui fonctionnent dans cette bande (en particulier les nombreuses stations aéronautiques mobiles réparties sur toute la plage de fréquences) rend le partage avec les radars profileurs de vent difficile.

3.2.3 Bande 400-410 MHz

Suite à la Recommandation N° 621 (CAMR-92), la bande de fréquences réservée au service des auxiliaires de la météorologie a été jugée inadéquate pour l'exploitation des radars profileurs de vent. En effet, outre les problèmes de compatibilité avec le système COSPAS-SARSAT (voir ci-après), il s'ensuivrait un brouillage avec les systèmes spatiaux de collecte de données.

La gamme 406-410 MHz est attribuée au service de radioastronomie ainsi qu'aux services fixe et mobile. Là aussi, les radars profileurs de vent ne peuvent pas fonctionner dans cette bande en raison de la nécessité d'éviter un brouillage du système COSPAS-SARSAT.

Le système COSPAS-SARSAT (système à satellites à orbite basse chargé de signaler et de localiser des situations de détresse à l'échelle mondiale au moyen de récepteurs spatiaux hautement sensibles) fonctionne dans la bande 406-406,1 MHz. L'élément spatial SARSAT comprend trois satellites météorologiques à orbite quasi polaire du type Tiros-N et un satellite géostationnaire de la série GOES; l'élément COSPAS est constitué de trois satellites de radionavigation du type Nadezhda. Ce système de protection de la sécurité humaine reçoit des messages de détresse émis par des balises d'urgence de faible puissance. Si les radars profileurs de vent émettent, verticalement et dans la même gamme de fréquences, des signaux de forte puissance, ceux-ci perturberont les signaux de détresse et/ou satureront les récepteurs hautement sensibles du système spatial.

La valeur de séparation en fréquence qui permet d'éviter que les radars profileurs de vent ne perturbent le système COSPAS-SARSAT a été déterminée à partir des caractéristiques des récepteurs et des spectres d'émission radar connus. Selon les hypothèses, la séparation en fréquence calculée est comprise entre 5 MHz au minimum et 24 MHz pour les cas les plus défavorables.

Il est possible d'assurer la compatibilité en coupant le radar profileur de vent lorsqu'il est survolé par un satellite du système COSPAS-SARSAT (méthode actuellement utilisée dans le réseau de démonstration qui comprend environ 30 radars profileurs de vent fonctionnant à 404 MHz au centre des Etats-Unis d'Amérique). Cependant, à part le fait qu'elle ne résoudrait pas d'autres problèmes de partage dans cette bande de fréquences, cette méthode est jugée d'application difficile étant donné les centaines ou même les milliers de radars déployés dans le monde. En tout état de cause, le système international COSPAS-SARSAT est opérationnel depuis 1985 et a déjà contribué au sauvetage de milliers de personnes, et son exploitation ne doit être menacée en aucune façon.

En conséquence, les administrations ne doivent autoriser aucune attribution additionnelle de fréquences aux radars profileurs de vent dans la bande 400-410 MHz. Comme mesure temporaire, les administrations qui exploitent actuellement de tels systèmes dans la bande 400-410 MHz doivent protéger le système COSPAS-SARSAT, notamment en désactivant l'émetteur des profileurs lorsqu'un satellite les survole. A noter que plusieurs cas de brouillages causés par des radars profileurs de vent hors réseau et dus à une erreur humaine ont été signalés (par exemple, inexactitude de l'horaire de passage des satellites mémorisé dans l'ordinateur pour la programmation des coupures des radars).

La bande de fréquences susmentionnée ne pouvant être utilisée pour les radars profileurs de vent à usage météorologique, il est urgent de déterminer pour cette application une autre bande dans la gamme des 400 MHz.

3.2.4 Bande 410-420 MHz

Cette bande est attribuée à la recherche spatiale (activités espace vers espace, activités menées à l'extérieur des véhicules spatiaux) ainsi qu'aux services fixe et mobile. Elle ne peut être proposée pour les radars profileurs de vent en raison de la nécessité de protéger la recherche spatiale et de la proximité des fréquences d'exploitation du système COSPAS-SARSAT.

3.2.5 Bande 420-430 MHz

Sur le plan international, cette bande est attribuée aux services fixe et mobile (à l'exception du service mobile aéronautique) à titre primaire et au service de radiolocalisation à titre secondaire. Elle est utilisée par des radars de grande puissance, fixes, transportables, embarqués ou aéroportés. Compte tenu de ces opérations de radiolocalisation et des opérations du service mobile terrestre, du service fixe et du service d'amateur (existant dans certains pays), cette bande semble pouvoir être partagée avec les radars profileurs de vent. Toutefois, elle ne peut être retenue, étant donné la grande proximité des fréquences d'exploitation du système COSPAS-SARSAT.

3.2.6 Bande 430-440 MHz

Cette bande est attribuée aux services de radiolocalisation, d'amateur, d'exploitation spatiale, d'amateur par satellite et de radiolocalisation aéronautique. Son partage avec les radars profileurs de vent n'est pas possible en raison des opérations du service d'amateur, à signaux très faibles, réalisées à l'échelle mondiale dans la bande 431-433 MHz et des opérations du service d'amateur par satellite qui utilisent la bande 435-438 MHz. Par ailleurs, la bande 430-440 MHz est également partagée avec des systèmes de radiolocalisation très mobiles. En raison des considérations précédentes, le partage de la bande 430-440 MHz ne peut être envisagé.

3.2.7 Bande 440-450 MHz

Sur le plan international, cette bande est attribuée aux services fixe et mobile (à l'exception du service mobile aéronautique) à titre primaire et au service de radiolocalisation à titre secondaire. Elle est exploitée par des radars de grande puissance, fixes, transportables, embarqués ou aéroportés. Compte tenu de ces opérations de radiolocalisation et des opérations du service mobile terrestre, du service fixe et du service d'amateur (existant dans certains pays), cette bande semble pouvoir être partagée avec les radars profileurs de vent. Cependant, il peut être nécessaire de respecter, pour les radars profileurs de vent situés très près des endroits où ont lieu les opérations énoncées au numéro S5.286 du RR, une séparation en fréquence minimale de l'ordre de 1 MHz pour éviter toute interaction. Un complément d'étude est indispensable pour définir la séparation en fréquence et en distance requise.

Compte tenu des considérations précédentes, il est possible de proposer la bande 440-450 MHz pour le partage de fréquences avec les radars profileurs de vent.

3.2.8 Bande 450-470 MHz

Cette gamme est attribuée à l'échelle mondiale aux services fixe et mobile. La bande entière est largement utilisée par de nombreuses stations mobiles, notamment par les systèmes de radiorecherche sans accusé de réception automatique, et il est probable que certaines administrations introduiront dans les 10 à 20 prochaines années de nouvelles techniques à bande étroite et à large bande. En outre, la bande 460-470 MHz est attribuée à titre secondaire aux services par satellite (espace-Terre).

Il ressort de ce qui précède qu'il peut être difficile d'exploiter les radars profileurs de vent dans la bande 450-470 MHz.

3.2.9 Bande 470-500 MHz

La bande 470-500 MHz est attribuée au service de radiodiffusion télévisuelle à l'échelle mondiale. Elle est largement utilisée par la plupart des pays dans le monde et des études sont actuellement menées en vue d'installer un plus grand nombre de stations de télévision recourant à des techniques existantes ou à de futures techniques de numérisation. La réception des émissions radiodiffusées est accessible à grande échelle et la couverture en radiodiffusion est étendue. Des milliers d'émetteurs offrant des services de télévision nationaux et locaux sont mis en œuvre dans de nombreux pays.

Les facteurs techniques indiqués au § 1.5.8 doivent être pris en compte dans l'étude de la compatibilité entre les radars profileurs de vent et les services de radiodiffusion télévisuelle dans la bande des ondes décimétriques.

Un des problèmes majeurs qui se posent pour tous les radars – et le radar profileur de vent ne fait pas exception à la règle – est la grande largeur de bande qui est requise. Si la zone de séparation entre stations de télévision fonctionnant dans le même canal est assez grande pour permettre l'exploitation d'un radar profileur de vent dans ce canal et dans cette zone de séparation, la question de la largeur de bande ne constitue plus une préoccupation majeure car le radar peut pratiquement occuper toute la largeur du canal de télévision.

L'évolution future des choses peut amener, dans certains pays, la mise en œuvre de systèmes de radiodiffusion sonore numérique de Terre et de systèmes de télévision numérique de Terre dans les bandes de radiodiffusion. Toutefois, les caractéristiques spécifiques de la télévision numérique ne sont pas connues et il n'est donc pas encore possible de prévoir les distances de séparation pour les futures opérations numériques.

Il y aura, par ailleurs, une période de transition pendant laquelle des systèmes de télévision analogique seront exploités en même temps que des systèmes de télévision numérique, d'où une plus grande utilisation des canaux. Les possibilités de partage seront par conséquent moindres pendant cette période.

Des essais ont été menés sur la protection, dans le même canal, des systèmes de télévision analogique G/PAL vis-à-vis d'un radar profileur de vent fonctionnant à 482 MHz. D'après les résultats, un décalage de fréquence d'une demi-ligne (environ 7800 Hz) entre la fréquence centrale du radar et celle des systèmes vidéo offre les meilleurs rapports de protection. Une valeur de 39 dB représente un brouillage continu émanant du radar avec un décalage de fréquence d'une demi-ligne. Il est possible d'apporter d'autres améliorations, d'une valeur totale de 5 dB, en synchronisant de manière précise le décalage entre la fréquence d'exploitation du radar profileur de vent et celle des systèmes vidéo et en synchronisant la fréquence de répétition des impulsions du radar et la fréquence de ligne vidéo. Si le décalage de fréquence de demi-ligne n'est pas optimisé, il en résultera une dégradation de 10 dB du rapport de protection.

La coordination des paramètres de fonctionnement dans chaque cas peut faciliter le partage entre les radars profileurs de vent et les systèmes de radiodiffusion télévisuelle.

S'agissant du partage de fréquences, l'intensité de champ minimale requise pour les signaux de télévision est de 53 dB(μ V/m) comme le définit le Rapport UIT-R BT.409.

3.3 Rayonnement d'harmoniques

Dans de nombreux pays, le rayonnement de la seconde harmonique du radar peut entrer dans la gamme des services mobiles.

Le niveau de ce rayonnement ou du brouillage doit être mesuré et, si nécessaire, réduit autant que possible par le recours à des mesures appropriées (utilisation d'un dispositif comme le filtre d'harmoniques, choix minutieux des fréquences ou de l'emplacement des systèmes en question, etc.).

3.4 Conclusions relatives aux bandes voisines de 400 MHz

Dans la toute la gamme 300-500 MHz, on peut envisager d'utiliser les bandes de fréquences 440-450 MHz et 470-500 MHz. Dans le cas de la bande 470-500 MHz, des arrangements de partage doivent être prévus avec les services de radiodiffusion existants ou envisagés, y compris le service de radiodiffusion numérique actuellement à l'étude.

4 Bandes voisines de 1 000 MHz

4.1 Besoins de l'utilisateur et caractéristiques du système

Les radars profileurs de vent fonctionnant à 1 000 MHz sont les instruments idéaux pour la surveillance des couches inférieures de l'atmosphère. Des données sur le vent, à résolution élevée, mesurées le plus souvent entre le niveau du sol et une altitude de 5 km, sont indispensables pour les prévisions locales à très court terme, pour les avis destinés au public et à l'aviation, pour la surveillance de la pollution atmosphérique et pour l'étude de l'atmosphère.

On utilise des modèles de transport de la pollution atmosphérique pour prévoir la dispersion de polluants dans l'atmosphère locale et dans le cas d'accidents chimiques ou nucléaires. A cet effet, il est nécessaire d'obtenir des données sur les profils de vent au moins toutes les 10 min dans la couche limite, jusqu'à une distance de 3 km et avec une résolution verticale de 30 m.

S'agissant des prévisions météorologiques à très court terme et, en particulier, des alertes météorologiques graves destinées à l'aviation, les météorologues doivent disposer de données sur le profil en hauteur et sur le cisaillement du vent, caractérisées par une résolution spatiale et temporelle élevée. En outre, le niveau de mesure le plus bas doit être le plus proche possible du sol.

Dans les applications météorologiques, les radars profileurs de vent de faible altitude fonctionnant au voisinage de 1 000 MHz sont les instruments idéaux pour les prévisions synoptiques ou à méso-échelle, utilisés en complément des profileurs à ondes métriques de haute altitude.

En ce qui concerne l'étude de l'atmosphère, il est nécessaire de disposer de données de résolution très élevée sur le vent pour étudier les couches inférieures de l'atmosphère. On peut utiliser des radars profileurs de vent de 1 000 MHz pour évaluer le flux thermique et le flux cinétique, essentiels à la compréhension des processus atmosphériques.

Les radars fonctionnant à 1 000 MHz peuvent être équipés de systèmes acoustiques qui mesurent les profils de température dans les mêmes gammes, ce qui permet d'obtenir un seul système de surveillance de l'atmosphère.

Les applications susmentionnées exigent le recours à deux types de radars profileurs de vent, le premier étant un radar fournissant typiquement des données sur une hauteur comprise entre 300 m et 5 km avec une résolution de 150 m, en complément des mesures anémométriques effectuées par des systèmes à ondes métriques jusqu'à la couche limite.

L'autre type de radar profileur de vent est généralement un système autonome.

Les principales caractéristiques des deux types de radars profileurs de vent sont données dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

	Système complémentaire au système à ondes métriques ⁽¹⁾	Système autonome
Puissance de crête (W)	4 000	1 000
Puissance moyenne (W)	80	50
Largeur d'impulsion (µs)	1	0,3-10
Pouvoir séparateur en hauteur (m)	150	50-500
Largeur de bande nécessaire maximale (MHz)	2	0,7-7,3
Largeur du faisceau à 3 dB (degrés)	6°	4°-10°
Niveau maximal des lobes secondaires avec un angle d'élévation de 0 à 5° (dBi)	0	0

⁽¹⁾ Dans certains cas, un système complémentaire peut être utilisé de manière autonome.

Les radars profileurs de vent de 1 000 MHz peuvent être produits à un coût relativement faible par rapport aux systèmes fonctionnant à 50 et à 400 MHz. Plus petits et transportables, ils peuvent servir à déterminer les conditions de vent dans les aéroports.

4.2 Partage/compatibilité

Le partage de fréquences dans la bande 864-1 427 MHz entre les radars profileurs de vent et les services existants est décrit ci-après.

4.2.1 Services dans la bande 862-960 MHz

La bande susmentionnée est largement utilisée par divers services.

4.2.1.1 Bande 862-960 MHz dans la Région 1

En Europe, une grande partie de la bande de fréquences 864-960 MHz est déjà largement utilisée par les services mobiles terrestres, tant pour les systèmes nationaux que pour les systèmes internationaux. Il est prévu dans un proche avenir d'exploiter des systèmes similaires dans les parties restantes de la bande.

4.2.1.2 Bande 890-960 MHz dans les Régions 1 et 3

Cette bande est attribuée, à titre primaire, au service de radiodiffusion dans la Région 3 et dans une partie de la Région 1 (voir le numéro S5.322 du RR).

4.2.1.3 Bande 900-960 MHz dans les Régions 1 et 3

Cette bande est attribuée à titre primaire aux services fixe et mobile. Compte tenu de l'effet d'écran du terrain, une distance de séparation type de 60 km est requise lorsque le même canal est utilisé.

4.2.1.4 Bande 900-960 MHz dans la Région 2

Dans plusieurs pays, la bande 902-928 MHz est utilisée par des radars de recherche fixes, de grandes portée et puissance, aéroportés ou embarqués à bord de navires. Il convient d'éviter d'exploiter des radars profileurs de vent dans les parties de la bande 902-904 MHz attribuées au service d'amateur où les signaux sont faibles. La bande 928-960 MHz est utilisée par un certain nombre de services de Terre pour zones de haute densité, y compris des systèmes fixes et mobiles.

4.2.1.5 Conclusions

Notant:

- a) que dans une grande partie du monde, la bande 862-960 MHz est utilisée par le service mobile et compte tenu des caractéristiques de ce service, à savoir un usage intensif et de faibles possibilités de garantir une distance de séparation suffisante entre les radars profileurs de vent et les utilisateurs du service,
- b) les distances de séparation requises pour le service fixe,
- c) les caractéristiques des autres services qui exploitent la bande,

on conclut que le partage de la bande avec les radars profileurs de vent n'est pas possible, sauf dans une portion comprise entre 904 et 928 MHz dans certaines parties de la Région 2.

4.2.2 Bande 960-1 215 MHz: compatibilité avec les dispositifs de mesure de distance (DME – distance measuring equipment) et les systèmes TACAN

Le système DME comprend un interrogateur installé à bord d'un aéronef et un répondeur situé à un point de référence au sol. L'interrogateur transmet des signaux d'interrogation appariés au répondeur et reçoit de celui-ci des signaux de réponse appariés. L'interrogateur calcule la distance oblique qui sépare l'aéronef du site du répondeur. Le système TACAN a la même fonction de mesure de distance que le système DME.

4.2.2.1 Compatibilité avec les répondeurs DME au sol

Compte tenu des paramètres techniques des radars profileurs de vent et des répondeurs DME au sol et compte tenu de la conception des répondeurs DME qui offre un affaiblissement supplémentaire (75 dB) grâce à un codage spécifique des paires de signaux, le brouillage est dû au fait que la puissance des radars profileurs de vent accroît le niveau de bruit du récepteur de la balise DME au sol et requiert un affaiblissement de 168 dB, ce qui correspond dans l'espace libre à une distance de 5 000 km à 1 200 MHz. Même si les radars profileurs de vent sont installés dans des régions montagneuses où un affaiblissement de 20 dB peut être obtenu, il est nécessaire de respecter une distance de 500 km si l'on veut obtenir un affaiblissement de 148 dB.

4.2.2.2 Compatibilité avec l'interrogateur installé à bord d'un aéronef

Le récepteur décodeur de l'interrogateur installé à bord d'un aéronef recevra un signal brouilleur de 50 dB au-dessus du niveau de rejet du décodeur de -78 dBW, ce qui causera un important brouillage au niveau du récepteur de l'interrogateur. On suppose que l'interrogateur de l'aéronef est situé à 1 000 m au-dessus du radar profileur de vent et dans le faisceau principal de celui-ci, et que la puissance rayonnée par le faisceau principal est de 67 dBm avec un gain d'antenne de +30 dB.

Etant donné que la largeur de spectre du radar est supérieure à 1 MHz et qu'il y a un canal DME par MHz, un affaiblissement de 50 dB est impossible à obtenir si le radar partage la bande de fréquences utilisée par les systèmes DME/TACAN.

4.2.2.3 Conclusions

Il ressort d'un certain nombre d'études que les radars profileurs de vent provoquent d'importants brouillages s'ils partagent la bande de fréquences 960-1 215 MHz.

4.2.3 Bande 1 215-1 260 MHz: service de radionavigation par satellite

Les systèmes du service de radionavigation par satellite doivent être protégés conformément au numéro 953 du RR. Ce service est assuré par le signal L2 du GPS (1 227,6 MHz avec une largeur de bande nécessaire de 20,46 MHz) et par le système de radionavigation par satellite GLONASS-M (avant 2005: 1 246,0-1 256,5 ± 5,11 MHz; après 2005: 1 242,9-1 248,6 ± 5,11 MHz).

Des essais en conditions d'exploitation ont montré que l'exploitation d'un radar profileur de vent à ondes métriques complémentaire (à faible coefficient d'utilisation) est compatible avec certains récepteurs GPS (résultats indépendants de la fréquence). Toutefois, une distance de protection de 20 m est indispensable pour éviter un endommagement des étages d'entrée. Par ailleurs, une étude préliminaire a révélé que la présence de six radars profileurs de vent à ondes métriques complémentaires ou plus, en visibilité directe du récepteur GPS (sans une séparation suffisante en fréquence), peut empêcher le fonctionnement du service du GPS L2.

Selon des études portant sur le brouillage d'un récepteur GLONASS par des radars profileurs de vent à ondes métriques complémentaires fonctionnant à 1 238 MHz, il est nécessaire de respecter une distance de séparation de 105 km pour assurer le fonctionnement des radars tout en protégeant les utilisateurs du système GLONASS, avec une perte de données de 20% environ.

Les administrations concernées sont invitées à poursuivre les essais dans des environnements d'exploitation représentatifs pour déterminer les conditions de partage. La compatibilité avec des radars profileurs de vent à coefficient d'utilisation plus élevé appelle un complément d'étude.

4.2.4 Bande 1 240-1 300 MHz: compatibilité avec le service d'amateur

Il existe plusieurs types d'opérations dans le service d'amateur, faisant appel par exemple à des répéteurs et à des satellites. Une étude a été réalisée sur la compatibilité entre les radars profileurs de vent et ces opérations.

Il faut éviter d'utiliser les radars profileurs de vent dans la bande 1 295,8-1 297 MHz attribuée au service d'amateur, où les signaux sont faibles.

4.2.4.1 Bande 1 260-1 270 MHz: compatibilité avec le service d'amateur par satellite

Le satellite d'amateur qui se trouve dans l'axe du faisceau principal d'un radar profileur de vent est soumis à un brouillage d'une puissance supérieure au seuil prévu de -182 dBW, l'écart pouvant atteindre 60 dB.

Même lorsqu'il est situé à 60° - 90° hors de l'axe du faisceau principal, le satellite est soumis de la part du radar profileur de vent à une puissance de brouillage supérieure d'environ 35 dB au seuil de -182 dBW.

Conformément aux niveaux de brouillage susmentionnés, le satellite d'amateur est brouillé par le radar profileur de vent lorsqu'il est en visibilité directe de celui-ci.

4.2.4.2 Bandes 1 240-1 260 et 1 270-1 300 MHz: compatibilité avec la station de répéteurs de Terre destinée au service d'amateur

Si la longueur de trajet du radar profileur de vent est de 30 km, la puissance de brouillage calculée est de 82 dBm (propagation en espace libre) à l'entrée du récepteur du service d'amateur.

Compte tenu du rapport entre la fréquence du signal et la largeur de bande, le niveau de brouillage réel à l'entrée du récepteur est de -100 dBm environ.

Le niveau est supérieur de 40 dB au seuil de brouillage prévu de -170 dBW.

Lorsque les radars profileurs de vent sont installés dans une région montagneuse, le signal brouilleur peut être affaibli de plus de 20 dB.

4.2.4.3 Conclusions

Les services d'amateur font appel à divers types de communications et peuvent en conséquence être brouillés par les radars profileurs de vent, en particulier lorsque la fréquence de fonctionnement des radars est identique à la fréquence des ondes entretenues utilisées par le satellite.

4.2.5 Bande 1 215-1 400 MHz: compatibilité avec des radars de grande puissance

Cette bande est également attribuée au service de radiolocalisation et est utilisée par des radars de grande puissance, fixes, aéroportés, embarqués ou transportables. Le partage est possible avec une séparation adéquate en fréquence et en distance, dans les bandes suivantes:

- 1 235-1 300 MHz dans certains pays;
- 1 300-1 350 MHz;
- 1 350-1 375 MHz dans certains pays.

4.2.6 Bande 1 215-1 300 MHz: compatibilité avec le service (actif) d'exploration de la Terre par satellite

Les radars à synthèse d'ouverture installés à bord de satellites d'exploration de la Terre fonctionnent actuellement et continueront à fonctionner dans la bande 1 215-1 300 MHz. Selon des analyses théoriques, le partage de fréquences est possible entre les systèmes susmentionnés et les radars profileurs de vent. Il a en outre été démontré que le fonctionnement sur la même fréquence d'un certain nombre de radars profileurs de vent et d'un radar à synthèse d'ouverture diminue de manière inacceptable la qualité de fonctionnement du radar à synthèse d'ouverture. Une séparation suffisante devra être observée au niveau de la fréquence centrale pour qu'il y ait, dans cette partie du spectre, une compatibilité de fonctionnement entre les radars profileurs de vent et les détecteurs actifs installés à bord de satellites.

Les radars de surveillance du trafic aérien, dotés d'une puissance isotrope rayonnée plus élevée que la puissance du faisceau principal des radars profileurs de vent, fonctionnent dans cette bande depuis de nombreuses années. On n'observe généralement pas de brouillages préjudiciables aux opérations des détecteurs installés à bord de satellites, mais une dégradation de qualité des radars à synthèse d'ouverture qui peut être imputée aux émissions des radars de surveillance du trafic aérien.

4.2.7 Bande 1 400-1 427 MHz: service de radioastronomie

La protection du service de radioastronomie doit être assurée comme indiqué au numéro S5.340 du RR.

4.3 Conclusions concernant le partage de fréquences

Les radars profileurs de vent de 1 000 MHz peuvent fournir des informations très importantes sur le vent à des résolutions spatiale et temporelle très élevées pour les prévisions météorologiques à très court terme, pour la surveillance de la pollution atmosphérique, pour les mesures d'urgence à prendre en cas d'accidents chimiques ou nucléaires et pour les alertes météorologiques graves destinées à l'aviation et à la protection du public.

L'analyse de la bande 960-1 215 MHz, réservée à la radionavigation aéronautique, montre que le partage n'est pas possible avec les radars profileurs de vent.

Les bandes utilisées pour la radionavigation aéronautique doivent être protégées.

L'utilisation de la bande 1 260-1 270 MHz réservée au service d'amateur par satellite, et des fréquences voisines de 1 296 MHz, attribuées au service d'amateur, doit être évitée.

Le service de radionavigation par satellite doit être protégé à l'échelle mondiale des brouillages et des contraintes d'exploitation.

Il peut être nécessaire de ménager une distance de séparation type de 60 km entre un radar profileur de vent et une station de base mobile terrestre lorsque le même canal est utilisé et compte tenu d'un effet d'écran dû au relief montagneux.

Le partage avec des radars fixes de grande puissance est parfois possible, à condition de respecter une séparation en fréquence et en distance appropriée.

Le partage entre un radar profileur de vent et des détecteurs actifs installés à bord de satellites est possible. Toutefois, l'exploitation de la même fréquence par plusieurs radars profileurs de vent et par des détecteurs montés à bord de satellites peut s'avérer impossible.

Le service de radioastronomie doit être protégé.

4.4 Conclusions concernant les bandes voisines de 1 000 MHz

Bien que souhaitable en termes de coût, l'utilisation d'une seule bande de fréquences peut être difficile à obtenir pour les radars profileurs de vent.

Les bandes proposées sont les suivantes:

- 904-928 MHz;
- 1 235-1 241 MHz (des précautions devant être prises concernant la radionavigation (voir la Note 1));
- 1 270-1 295 MHz;
- 1 300-1 375 MHz.

Les bandes de fréquences susmentionnées peuvent ne pas être appropriées pour toutes les régions.

Au-delà de 1 300 MHz, la qualité de fonctionnement des radars profileurs de vent diminue considérablement avec l'augmentation de la fréquence.

NOTE 1 – L'exploitation d'un radar profileur de vent dans cette bande peut causer des brouillages au niveau des récepteurs du service de radionavigation par satellite (voir le § 4.2.3). Les modalités de partage doivent être déterminées à partir de simulations et confirmées par des essais effectués dans des conditions d'exploitation.