

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R RS.1165-3
(12/2018)

**Caractéristiques techniques et critères de
qualité de fonctionnement des
systèmes utilisés dans le service des
auxiliaires de la météorologie
dans les bandes à 403 MHz et à 1 680 MHz**

Série RS
Systèmes de télédétection



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 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 œuvre 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

(Également 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	Systemes 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	Émissions 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, 2019

© UIT 2019

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 RS.1165-3

Caractéristiques techniques et critères de qualité de fonctionnement des systèmes utilisés dans le service des auxiliaires de la météorologie dans les bandes à 403 MHz et à 1 680 MHz

(1995-1997-2006-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne les caractéristiques techniques et les critères de qualité de fonctionnement des systèmes utilisés dans le service des auxiliaires de la météorologie dans les bandes à 403 MHz et à 1 680 MHz. Elle porte sur l'ensemble des systèmes utilisés dans le service des auxiliaires de la météorologie: radiosondes, catasondes et fusées-sondes.

Recommandations et Rapports de l'UIT-R associés

Recommandation UIT-R RS.1263-1 – Critères de brouillage applicables au service des auxiliaires de la météorologie dans les bandes 400,15-406 MHz et 1 668,4-1 700 MHz

Recommandation UIT-R P.528 – Courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique

Recommandation UIT-R SA.1021 – Méthode permettant de déterminer les objectifs de qualité de fonctionnement pour des systèmes des services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite

Mots clés

Service des auxiliaires de la météorologie, radiosonde, fusée-sonde, catasonde

Abréviations/Glossaire

AXBT	Bathythermographe embarqué à usage unique (<i>airborne expendable bathythermograph</i>)
CAF	Commande automatique de fréquence
MAQ	Modulation d'amplitude en quadrature
MDFG	Modulation par déplacement de fréquence à filtre gaussien
MDMG	Modulation à déplacement minimal par filtre gaussien
MF	Modulation de fréquence
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMM	Organisation météorologique mondiale
PTU	Pression, température et humidité relative (<i>pressure, temperature and relative humidity</i>)
RDF	Radiogoniométrie (<i>radio direction finding</i>)
RR	Règlement des radiocommunications
SMO	Système mondial d'observation
SMT	Système mondial de télécommunications
SMTO	Système mondial de traitement de données
SRNS	Service de radionavigation par satellite

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les mesures effectuées dans la haute atmosphère par des radiosondes sont un élément essentiel du Programme de veille météorologique mondiale de l'Organisation météorologique mondiale (OMM);
- b) que de nombreux services du secteur de la défense utilisent des radiosondes pour effectuer diverses opérations indépendamment du Programme de veille météorologique mondiale;
- c) qu'un grand nombre de radiosondes sont utilisées pour la surveillance locale et régionale de la pollution atmosphérique ainsi que pour suivre la trajectoire d'émanations dangereuses provenant de catastrophes d'origine naturelle ou humaine;
- d) que les radiosondes exploitées dans le service des auxiliaires de la météorologie (MetAids) ont des besoins de radiocommunications spécifiques;
- e) que les radiosondes, catasondes et fusées-sondes utilisées dans le service MetAids sont principalement exploitées dans les bandes de fréquences 400,15-406 MHz (appelées la bande de fréquences à 403 MHz) et 1 668,4-1 700 MHz (appelée la bande de fréquences à 1 680 MHz) moyennant les limitations énoncées dans le numéro **5.379E** du Règlement des radiocommunications (RR);
- f) que les radiosondes utilisées dans le service MetAids sont des radiosondes installées à bord de ballons ascensionnels lancés à partir de stations terrestres ou de navires, des catasondes lancées d'aéronefs et freinées par un parachute, et des fusées-sondes lancées dans l'atmosphère au moyen de fusées;
- g) que les objectifs de qualité de fonctionnement des liaisons établies avec les radiosondes doivent être compatibles avec les caractéristiques fonctionnelles demandées et les limitations associées aux systèmes et aux bandes de fréquences dans lesquelles les besoins doivent être satisfaits;
- h) que les objectifs de qualité de fonctionnement des systèmes représentatifs exploités dans le service MetAids ont valeur de directives pour la mise au point des systèmes devant être exploités dans des conditions de partage des fréquences;
- i) que les objectifs de qualité de fonctionnement des divers systèmes peuvent être définis à l'aide d'une méthodologie semblable à celle qui est décrite dans la Recommandation UIT-R SA.1021;
- j) qu'il faut définir des objectifs de qualité de fonctionnement pour être en mesure de formuler des critères de brouillage;
- k) que la Recommandation UIT-R RS.1263 donne les critères de brouillage des systèmes du service MetAids exploités dans les bandes de fréquences à 403 MHz et à 1 680 MHz;
- l) que la Résolution **205 (Rév.CMR-15)** traite de la protection des systèmes fonctionnant dans le service mobile par satellite dans la bande de fréquences 406-406,1 MHz,

recommande

1 de considérer que les caractéristiques techniques et opérationnelles figurant dans l'Annexe 1 sont des caractéristiques types pour les auxiliaires de la météorologie dans les bandes de fréquences à 403 MHz et à 1 680 MHz;

2 de tenir compte des critères de qualité de fonctionnement spécifiés au Tableau 3 de l'Annexe 1 lors de la définition de critères de brouillage et de la réalisation d'études de partage de fréquences avec d'autres services.

Annexe 1

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Annexe 1	3
1 Introduction	4
1.1 Opérations météorologiques journalières	4
1.2 Surveillance des changements climatiques.....	5
1.3 Autres utilisateurs	5
2 Champ d'application des radiosondages	6
3 Spectre radioélectrique utilisé dans les opérations destinées à la transmission d'informations à l'OMM	6
3.1 Résultats d'une étude de l'OMM.....	6
3.2 Spectre radioélectrique utilisé en Europe du Nord et de l'Ouest	8
3.3 Spectre radioélectrique utilisé en Amérique du Nord et du Sud	8
4 Caractéristiques de fonctionnement.....	8
5 Futurs besoins spectraux.....	9
5.1 Vents en altitude très forts	9
5.2 Efficacité accrue du personnel grâce à des systèmes hautement automatisés	9
5.3 Considérations relatives au coût des radiosondes.....	10
5.4 Indépendance à l'égard des systèmes internationaux d'aide à la navigation.....	10
5.5 Encombrement du spectre.....	10
5.6 Amélioration actuelle de l'efficacité d'utilisation du spectre	11
5.7 Détection/correction des erreurs	11
6 Objectifs de disponibilité pour le service MetAids	12
6.1 Conditions de propagation	12
6.2 Périodes de vol critiques	14
6.3 Objectifs de disponibilité des données pour les radiosondages synoptiques.....	15
6.4 Récapitulatif concernant les objectifs de disponibilité des données.....	18
7 Caractéristiques radioélectriques des radiosondes actuelles	18
7.1 Caractéristiques des émetteurs.....	19
7.2 Systèmes de réception.....	20

8	Caractéristiques radioélectriques des catasondes	24
8.1	Pratiques opérationnelles concernant les catasondes.....	24
8.2	Caractéristiques des catasondes	25
8.3	Projets futurs concernant les catasondes.....	25
9	Caractéristiques radioélectriques des fusées-sondes	26
9.1	Pratiques opérationnelles concernant les fusées-sondes.....	26
9.2	Caractéristiques des fusées-sondes	26
9.3	Profil de descente des fusées-sondes	27

1 Introduction

1.1 Opérations météorologiques journalières

Les auxiliaires de la météorologie¹ permettent principalement d'effectuer in situ, dans la haute atmosphère, des mesures de divers paramètres météorologiques (pression, température, humidité relative, vitesse et direction du vent) jusqu'à une altitude de 36 km. Ces mesures sont indispensables pour les fonctions de prévision du temps assurées par les différents pays (et, par conséquent, pour les services d'alerte météorologique grave destinés au public en vue de la protection des personnes et des biens). Les auxiliaires de la météorologie et les systèmes de poursuite associés réalisent des mesures simultanées de la structure verticale de la température, de l'humidité relative ainsi que de la vitesse et de la direction des vents sur toute la plage de hauteurs spécifiée. Les variations verticales de ces paramètres météorologiques fournissent la majeure partie des informations indispensables pour la prévision du temps. Les systèmes des auxiliaires de la météorologie constituent le seul système d'observation météorologique capable d'offrir régulièrement la résolution verticale dont les météorologues ont besoin pour les quatre paramètres précités. Il est de la plus haute importance de déterminer les hauteurs auxquelles un paramètre subit de brusques changements. Par conséquent, il est primordial de maintenir la fiabilité des mesures pendant toute l'ascension de la radiosonde.

Les observations réalisées par les auxiliaires de la météorologie sont effectuées par des radiosondes installées à bord de ballons ascensionnels lancés à partir de stations terrestres ou de navires, par des catasondes lancées d'aéronefs et freinées par un parachute et par des fusées-sondes lancées dans l'atmosphère au moyen de fusées et redescendant sous un parachute pendant la collecte des données. La plupart des pays procèdent régulièrement à des radiosondages, à raison de deux à quatre lancers par jour. Les données d'observation sont ensuite diffusées immédiatement à tous les pays dans un délai de quelques heures par le biais du système mondial de télécommunications (SMT) de l'OMM. Les systèmes d'observation et de diffusion des données relèvent tous du Programme de veille météorologique mondiale de l'OMM.

¹ La présente Recommandation porte sur les radiosondes, les catasondes et les fusées-sondes utilisées dans le service des auxiliaires de la météorologie (MetAids). On emploie le terme auxiliaires de la météorologie lorsque la discussion s'applique à ces trois types de systèmes. On emploie le nom du système particulier (radiosonde, catasonde et fusée-sonde) lorsque la discussion s'applique à un seul ou deux de ces trois types de systèmes.

Le réseau de radiosondes représente la principale source mondiale de mesures effectuées in situ et en temps réel. Selon les règlements de l'OMM (Manuel du système mondial de traitement de données (SMTO)), les mesures effectuées par les radiosondes doivent être réalisées et diffusées à tous les centres SMTO dans le monde (niveaux national, régional et mondial) en vue de la prévision numérique du temps. L'espacement horizontal entre les stations d'observation doit, dans le monde entier, être inférieur ou égal à 250 km au cours de la première décennie du vingt et unième siècle, la fréquence des observations étant d'une à quatre fois par jour. Toutefois, pour des phénomènes météorologiques à petite échelle (par exemple orages, vents locaux, tornades) et pour les urgences environnementales, les modèles de prévision numérique du temps exigeront en fait que les observations locales dans la haute atmosphère soient effectuées à des intervalles compris entre une et trois heures et avec une résolution horizontale de 50 à 100 km. Les observations doivent être transmises par divers systèmes choisis en fonction des besoins de l'administration nationale et comprennent les mesures effectuées par les auxiliaires de la météorologie, les radars profileurs de vent ou les satellites.

Les radiosondages sont indispensables pour maintenir la stabilité du système d'observation mondial mis en place par l'OMM. Les mesures recueillies par télédétection par les satellites n'indiquent pas la résolution verticale fournie par les radiosondes. Pour déterminer la structure verticale de la température à l'aide des mesures obtenues par satellite, il est généralement nécessaire d'initialiser les calculs directement à partir des statistiques établies par radiosonde ou à partir de la prévision météorologique numérique elle-même. Dans le second cas, les mesures par radiosonde assurent que la structure verticale reste précise et stable dans le temps. Par ailleurs, les mesures par radiosonde permettent d'échantillonner, au moyen de diverses techniques, les observations effectuées par satellite. On considère donc les radiosondages comme étant indispensables, dans un avenir prévisible, pour l'activité météorologique.

1.2 Surveillance des changements climatiques

Au cours des vingt dernières années, des modifications ont été observées au niveau de la température de l'atmosphère et de l'ozone atmosphérique, les plus importantes ayant eu lieu en majorité à des hauteurs comprises entre 12 et 30 km au-dessus de la surface de la Terre. Des radiosondages effectués régulièrement chaque jour à des hauteurs supérieures à 30 km permettent de déterminer la répartition verticale des changements et donc d'établir les causes des changements à évaluer. Les mesures de l'ozone effectuées par sonde à des hauteurs similaires permettent de déterminer la structure verticale de l'appauvrissement de l'ozone, phénomène qui semble actuellement se produire en hiver et au printemps dans l'hémisphère Nord comme dans l'hémisphère Sud. Un grand nombre de pays lancent des sondes pour mesurer l'ozone au moins trois fois par semaine en hiver et au printemps afin de surveiller l'évolution de la couche d'ozone.

Pour être efficace, l'échantillonnage des changements climatiques doit être effectué au moyen de radiosondes pour lesquelles les caractéristiques des erreurs systématiques sont connues. La nécessité d'assurer la continuité dans le temps des mesures effectuées dans la haute atmosphère à l'échelle du globe signifie que les nouveaux modèles de radiosondes ne sont mis en service qu'après plusieurs années d'essais intensifs en laboratoire et dans l'atmosphère libre.

1.3 Autres utilisateurs

Les instituts de recherche nationaux et d'autres utilisateurs peuvent également recourir aux auxiliaires de la météorologie, indépendamment des principaux organismes de météorologie du secteur civil. Les recherches peuvent porter sur la pollution de l'environnement, l'hydrologie, la radioactivité dans l'atmosphère libre, des phénomènes météorologiques importants (blizzards, ouragans, orages, etc.) et certaines propriétés physiques et chimiques de l'atmosphère. Cette utilisation ne diminue pas avec le temps, étant donné que, avec l'automatisation moderne, il est maintenant beaucoup plus facile

d'exploiter efficacement des systèmes mobiles et des systèmes à bord de navires sans avoir à recourir à des opérateurs très expérimentés et des équipements support en grande quantité. Il faut tenir compte de ces utilisateurs des auxiliaires de la météorologie, d'où une augmentation des besoins de spectre pour ces systèmes. La situation est particulièrement critique lorsque les sites de lancement de ces autres utilisateurs sont à moins de 150 km des sites de lancement des organismes de météorologie.

2 Champ d'application des radiosondages

De nombreux radiosondages sont normalement réalisés selon un calendrier particulier, mais certains peuvent être réalisés à tout moment de la journée ou de la nuit, en réponse à des besoins opérationnels, des conditions atmosphériques ou des essais requis particuliers. Les radiosondages synoptiques sont effectués dans le cadre de programmes mondiaux qui permettent de fournir les données d'observation indispensables à la prévision journalière du temps. Les observations standard sont en théorie effectuées à 0000 et 1200 UTC, mais les heures de lancement réelles varient d'un pays à un autre et, dans certains cas, les mesures sont faites au moins quarante-cinq minutes avant l'heure théorique. Les lancements peuvent également avoir lieu jusqu'à deux heures après l'heure théorique, si des problèmes surgissent dans la préparation de la radiosonde avant le vol, si la réglementation du trafic aérien d'un pays limite les heures de lancement ou si une défaillance se produit pendant le vol initial. Par ailleurs, certains pays procèdent régulièrement à des observations intermédiaires à 0600 et 1800 UTC. Des radiosondes et catasondes supplémentaires sont périodiquement lancées par des utilisateurs réalisant des opérations synoptiques, souvent à partir de sites temporaires et au moyen de systèmes mobiles, lorsqu'il existe des conditions météorologiques anormales ou lorsque des essais sont nécessaires. Les vols destinés à des opérations non synoptiques sont programmés pour répondre à des besoins opérationnels.

Les réseaux de radiosondes sont mis en place et exploités par les services nationaux de météorologie conformément aux pratiques et procédures recommandées, convenues au plan international dans le cadre de l'OMM. Le nombre des stations de radiosondage transmettant régulièrement des observations est de l'ordre de 650. Environ 500 000 radiosondes sont lancées régulièrement chaque année dans le cadre du réseau de l'OMM, sans compter les radiosondes exploitées dans le secteur de la défense ou destinées à des applications spécialisées, dont le nombre est estimé à 350 000.

3 Spectre radioélectrique utilisé dans les opérations destinées à la transmission d'informations à l'OMM

3.1 Résultats d'une étude de l'OMM

Le Tableau 1 présente une estimation de l'utilisation des fréquences radioélectriques par les stations de radiosondage synoptique qui transmettent chaque jour des informations pour l'échange de données météorologiques, tel que spécifié par l'OMM. Les renseignements donnés dans ce Tableau proviennent du catalogue de l'OMM concernant les radiosondes et les systèmes de détection des vents en altitude, actuellement utilisé par les Membres. Les résultats de l'étude ont été regroupés par région afin de montrer les diverses fréquences utilisées dans le monde. Des renseignements plus détaillés figurent dans le catalogue de l'OMM concernant les radiosondes et les systèmes de détection des vents en altitude, actuellement utilisé par les Membres. Les propositions visant à segmenter les bandes doivent tenir compte du fait que les bandes de fréquences attribuées, à l'échelle internationale et à titre primaire, aux auxiliaires de la météorologie ne sont pas disponibles pour ce service dans tous les pays. En Australie par exemple, la moitié au moins de la bande de fréquences à 403 MHz ne peut pas actuellement être utilisée pour les auxiliaires de la météorologie.

L'utilisation des deux principales bandes de fréquences attribuées au service MetAids (bandes de fréquences à 403 et à 1 680 MHz) varie beaucoup dans les différentes parties du monde. Les systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz sont exploités aux États-Unis d'Amérique, mais sont remplacés par des systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz. Les systèmes fonctionnant à 1 680 MHz sont exploités principalement au Japon et en Chine. Ces systèmes fournissent des données synoptiques au système SMT de l'OMM. Dans ces pays, d'autres utilisateurs emploient essentiellement la bande de fréquences à 403 MHz pour des opérations non synoptiques. En Europe, la bande de fréquences à 403 MHz est fortement utilisée pour les radiosondages synoptiques. La Russie et certains pays qui ont conclu des accords de coopération utilisent des fréquences autour de 1 780 MHz pour les radiosondages. De nombreux pays utilisant des radiosondes 1 780 MHz ont transféré leurs opérations dans l'une des deux bandes de fréquences principales attribuées afin de pouvoir utiliser les équipements disponibles sur le marché.

TABLEAU 1

**Récapitulatif des fréquences radioélectriques utilisées par les radiosondes
dans les opérations synoptiques quotidiennes²**

Région	Nombre total de sites	Nombre total de sites actifs	Nombre de sites inactifs ⁽¹⁾	Nombre de sites actifs utilisant la fréquence 400 MHz	Nombre de sites actifs utilisant la fréquence 1 680 MHz	Nombre de sites actifs utilisant la fréquence 1 780 MHz ⁽²⁾
Europe et Russie occidentale	192	154	38	112	28	14
Asie et Russie orientale	471	288	183	95	158	35
Afrique	237	60	177	58	2	0
Amérique du Nord	277	148	129	58	90	0
Amérique du Sud et Antarctique	114	86	28	84	0	2
Australie et Océanie	191	90	101	81	9	0
Systemes à bord de navires	166	70	96	67	3	0
Total	1648	636	752	555	290	51

⁽¹⁾ Les sites inactifs désignent des lieux où les opérations ont été suspendues, mais le site peut redevenir opérationnel à l'avenir.

⁽²⁾ La bande à 1 780 MHz (1 774-1 790 MHz) est utilisée dans quelques pays dans le monde mais elle n'est pas attribuée au service des auxiliaires de la météorologie dans le RR.

² Les données figurant dans ce tableau ont été tirées d'une ancienne version du Volume A du Rapport de l'OMM en date du 18 mai 2016.

3.2 Spectre radioélectrique utilisé en Europe du Nord et de l'Ouest

En Europe du Nord et de l'Ouest, le réseau de radiosondes est dense, les stations étant utilisées pour l'activité météorologique courante, le contrôle de l'environnement et diverses activités de la défense nationale. La plupart des radiosondes fonctionnent dans la bande de fréquences à 403 MHz. Bien que certains systèmes analogiques soient encore utilisés, la majorité de ces radiosondes sont maintenant numériques. Dans un avenir proche, il est prévu que les systèmes analogiques qui sont encore utilisés soient remplacés par des systèmes numériques. Des normes européennes harmonisées portant sur les exigences essentielles en termes de gabarit spectral et de puissance d'émission ont été élaborées pour toutes les radiosondes numériques utilisées en Europe. Il n'existe pas de norme harmonisée pour les radiosondes analogiques et l'utilisation de ces dernières est fondée sur une approbation nationale.

3.3 Spectre radioélectrique utilisé en Amérique du Nord et du Sud

Aux États-Unis d'Amérique, le service de météorologie civil a été le principal utilisateur de la bande de fréquences à 1680 MHz, mais il transfère les radiosondages dans la bande de fréquences 400,15-406 MHz. D'autres utilisateurs aux États-Unis d'Amérique utilisent également la bande de fréquences à 403 MHz. En outre, de nombreux systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz sont exploités par les utilisateurs réalisant des opérations non synoptiques. Des systèmes additionnels sont utilisés par les universités ou d'autres organismes américains.

4 Caractéristiques de fonctionnement

En dehors de la précision, les principales caractéristiques que doivent présenter les radiosondes sont la fiabilité, la solidité, la légèreté et la compacité. On recherche également une faible consommation électrique, une utilisation efficace du spectre et une stabilité en fréquence. Du fait qu'une radiosonde n'est en général utilisée qu'une fois, sa production doit être, par conception, peu onéreuse. La facilité et la stabilité de réglage des capteurs sont également des éléments importants. Une radiosonde doit pouvoir fournir des données sur une liaison radioélectrique d'au moins 200 km, et fonctionner à des températures comprises entre $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Comme la tension d'un accumulateur varie en fonction du temps et de la température, la radiosonde doit accepter de telles variations sans dépassement des tolérances de précision et de dérive de fréquence. Les équipements associés au sol ne doivent pas être trop complexes, ni exiger des opérations de maintenance hautement spécialisées et fréquentes. Il est toutefois préférable de concevoir des radiosondes aussi simples que possible, au prix éventuellement d'un surcroît de complexité au niveau des équipements au sol, puisque les problèmes de pannes au sol sont plus faciles à régler et que le coût des équipements de vol à usage unique doit être minimisé.

Concernant le vol complet d'une radiosonde, l'ascension dure entre 90 et 120 min, la descente, avec un parachute, étant deux fois plus rapide. La radiosonde continue en général d'émettre pendant la descente. La portée maximale, pour une bonne réception, est comprise entre 200 et 350 km, suivant la conception du système. La vitesse ascensionnelle est d'environ 5 m/s, et la trajectoire dépend du vent. En général, dans un rayon d'environ 400 à 650 km autour de la station de radiosondage au sol, on ne peut pas réutiliser la même fréquence de la liaison descendante. Dans les zones à forte densité, plus d'une dizaine d'opérateurs sont répartis dans la zone effective couverte par une radiosonde.

En Europe de l'Ouest et du Nord, le réseau de radiosondes est dense. Les services de météorologie, de contrôle de l'environnement, de recherche et de défense nationale doivent partager la bande de fréquences avec les services d'observation synoptique. Il est nécessaire de coordonner les opérations pour éviter les brouillages entre les radiosondes de différentes stations.

5 Futurs besoins spectraux

Les bandes de fréquences à 403 et à 1 680 MHz continueront probablement à être utilisées pour les radiosondages. Il est important de savoir que, bien que le service MetAids dispose d'une attribution de plus de 30 MHz dans la bande 1 668,4-1 700 MHz, une grande partie de cette bande de fréquences ne peut pas être utilisée par les auxiliaires de la météorologie en raison d'incompatibilités avec les autres services de radiocommunications bénéficiant d'attributions dans cette bande de fréquences. Dans de nombreuses parties du monde, seule la sous-bande 1 675-1 683 MHz peut être utilisée par le service MetAids. Les facteurs suivants devraient être déterminants dans le choix de la bande de fréquences à utiliser dans chaque pays.

5.1 Vents en altitude très forts

La force moyenne des vents en altitude varie selon le lieu géographique. Au Japon et dans de nombreuses régions côtières du nord-ouest de l'Europe, les vents soufflant entre la surface et une hauteur de 16 km sont en moyenne beaucoup plus forts que dans la plupart des autres régions de l'hémisphère Nord. La situation s'aggrave pour les radiosondages dans le nord-ouest de l'Europe car à des latitudes élevées et pendant une grande partie de l'hiver, il est fréquent que les vents soufflant entre 16 et 30 km soient même plus forts que dans les couches inférieures. La poursuite des radiosondes doit donc être régulièrement effectuée à des distances bien supérieures à 150 km, avec de très faibles angles d'élévation. Les vents forts peuvent persister pendant plusieurs semaines et des écarts importants apparaissent dans les relevés climatiques si les radiosondages effectués en altitude ne peuvent pas être transmis pendant cette période.

En hiver, les observations sont très importantes pour l'étude de l'appauvrissement de la couche d'ozone et il est primordial que les radiosondes dotées de capteurs d'ozone utilisées dans la haute atmosphère transmettent le plus d'informations possible. La meilleure réception qui est assurée à 403 MHz est donc considérée comme étant de la plus haute importance pour les radiosondages effectués dans les endroits où soufflent des vents forts en altitude pendant de longues périodes, quel que soit le moyen utilisé pour mesurer les vents en altitude (NAVAID ou radars primaires).

Dans les régions où la vitesse des vents est le plus souvent élevée, il est donc préférable, pour deux raisons, d'utiliser la bande de fréquences à 403 MHz. Premièrement, les caractéristiques de propagation à 403 MHz assurent des liaisons plus fiables sur de grandes distances. Deuxièmement, la propagation par trajets multiples limite la précision des radiothéodolites lorsque les angles d'élévation sont proches de l'horizon. Ainsi, pour obtenir des mesures précises du vent dans les conditions difficiles précitées, il est indispensable de recourir à un récepteur du SRNS sur la radiosonde.

5.2 Efficacité accrue du personnel grâce à des systèmes hautement automatisés

Par le passé, de nombreux services nationaux de météorologie dans le monde ont opté pour des systèmes de détection des vents fondés sur des NAVAI (essentiellement LORAN-C) comme auxiliaires de la météorologie fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz, dans le but d'accroître l'efficacité du personnel chargé des opérations. L'exploitation et la maintenance des systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz sont généralement plus faciles. Le coût supplémentaire de la radiosonde utilisée dans les systèmes de détection des vents fondés sur des NAVAI a été compensé par d'importants gains de productivité car les opérations sont effectuées par une seule personne, ainsi que par une notable réduction de la maintenance du système au sol.

Toutefois, on produit maintenant des radiosondes relevant du SRNS qui fonctionnent à la fois dans la bande de fréquences à 403 MHz et dans celle à 1 680 MHz. Ces radiosondes offrent des avantages qui auparavant n'étaient offerts que par les radiosondes fondées sur des NAVAI fonctionnant dans la bande à 403 MHz.

Les systèmes NAVAID terrestres classiques, tels que LORAN-C, ont cessé d'être exploités entre 1997 et 2001. On peut continuer à recourir à des radiosondes LORAN-C dans les régions du monde où se poursuivent des opérations faisant appel au système LORAN-C.

5.3 Considérations relatives au coût des radiosondes

Le principal facteur limitatif des radiosondages dans le réseau mondial est le coût. Dans les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le coût d'une radiosonde représente environ un quart du coût total d'un radiosondage. La ventilation des coûts est sensiblement différente dans les pays en développement, où le coût de la radiosonde est le principal élément. Du fait que les besoins en données météorologiques sont mondiaux, certains pays développés font don de systèmes et de radiosondes aux pays en développement pour assurer la continuité des observations dans la haute atmosphère. Il est donc impératif de faire en sorte que le prix des radiosondes soit aussi bas que possible, si l'on veut être en mesure de continuer à procéder aux observations vitales dans le domaine de la météorologie opérationnelle, notamment en ce qui concerne la protection de la vie humaine. Dans le coût total d'une radiosonde, les capteurs et les systèmes de détection des vents représentent la majeure partie de la dépense, alors que les émetteurs, maintenus aussi simples que possible, ne sont jamais très onéreux. Le coût des émetteurs représente en effet environ 15 à 35% du budget d'équipement électronique actuel d'une radiosonde.

Il est conseillé d'utiliser la bande de fréquences à 1 680 MHz dans certains pays où les vents forts ne sont pas fréquents et/ou lorsque le coût qu'entraînerait l'utilisation des radiosondes SRNS fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz est un facteur non négligeable. La bande de fréquences à 1 680 MHz permet d'utiliser des radiogoniomètres pour mesurer les vents plutôt que d'utiliser une radiosonde GPS plus onéreuse. Les radiosondes utilisées dans l'activité météorologique en association avec des radiothéodolites ou des radars primaires constituent le modèle le plus simple et offrent, de ce fait, le coût unitaire le plus bas. L'installation d'une station au sol plus complexe entraîne des frais initiaux plus élevés, mais des économies peuvent être réalisées au niveau des dépenses d'exploitation annuelles lorsque les radiosondes sont achetées en grandes quantités et que les dépenses de personnel ne sont pas un élément critique.

5.4 Indépendance à l'égard des systèmes internationaux d'aide à la navigation

Il peut également exister, dans certains pays, une prescription nationale selon laquelle les systèmes de sondage utilisés dans la haute atmosphère doivent pouvoir fonctionner indépendamment des systèmes internationaux NAVAID, qui risquent de ne pas être disponibles en période d'urgence. Dans de telles situations, l'utilisation de radiothéodolites fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz ou le recours à des radars primaires fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz constituent des options réalisables.

5.5 Encombrement du spectre

Dans certaines parties du monde, une seule bande de fréquences serait insuffisante pour répondre aux besoins de spectre des utilisateurs des auxiliaires de la météorologie. Dans ces régions, les deux bandes de fréquences sont utilisées, ce qui permet d'avoir un spectre suffisant pour les opérations synoptiques, les activités de défense, la recherche atmosphérique et d'autres applications. Les évolutions récentes en matière de conception des radiosondes ont conduit à une réduction de la largeur de bande opérationnelle des radiosondes d'un facteur d'au moins 10, ce qui a permis de résoudre en partie le problème d'encombrement.

5.6 Amélioration actuelle de l'efficacité d'utilisation du spectre

Pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre par les radiosondes, une solution consiste à développer l'utilisation de systèmes de télémesure numérique. Les avantages de ces systèmes tiennent principalement à la plus faible largeur de bande occupée, ce qui permet une plus grande utilisation simultanée du spectre par les radiosondes. Une norme en vigueur de l'ETSI relative aux radiosondes numériques (Type B dans le Tableau 4) spécifie que la dérive de fréquence ne doit pas dépasser ± 20 kHz avec une largeur de bande occupée de 200 kHz. Les toutes nouvelles radiosondes ont même permis de faire baisser celle-ci à moins de ± 5 kHz, et certains modèles permettent de réduire la dérive de fréquence à ± 2 kHz et la largeur de bande occupée à 12 kHz.

Certains pays ont toujours recours au système LORAN-C pour la détection des vents car les coûts sont moins élevés qu'avec le SRNS. Il sera difficile d'exploiter un réseau extrêmement dense (avec un espacement de 100 km) en raison de la grande largeur de bande requise par les radiosondes LORAN-C.

L'OMM encourage les régions qui utilisent des radars à très large bande pour la détection des vents à mettre en place des systèmes à bande étroite, compte tenu de la nécessité d'utiliser le spectre radioélectrique en partage avec d'autres systèmes.

Les systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz ne sont pas encore utilisés dans les réseaux où l'espacement est aussi réduit et il n'est pas encore exigé des principaux fournisseurs qu'ils mettent au point des émetteurs dotés de la stabilité correspondante. Il est donc possible, dans une certaine mesure, d'utiliser le spectre de manière efficace dans cette bande de fréquences dans les parties du monde nécessitant plus de 8 MHz environ, étant donné que des modifications peuvent être apportées sur une échelle de temps qui n'entraîne pas une augmentation notable du coût des radiosondes.

Les propositions visant à segmenter les bandes doivent tenir compte du fait que les bandes de fréquences attribuées, à l'échelle internationale et à titre primaire, aux auxiliaires de la météorologie ne sont pas disponibles pour ce service dans tous les pays. En Australie par exemple, la moitié au moins de la bande de fréquences à 403 MHz ne peut pas actuellement être utilisée par le service MetAids.

5.7 Détection/correction des erreurs

L'efficacité d'utilisation du spectre par les systèmes numériques du service MetAids a été améliorée grâce à une meilleure stabilité en fréquence, un meilleur taux d'erreurs sur les bits (TEB) et une puissance d'émission plus faible. La correction d'erreur directe (CED) a permis d'améliorer le TEB. Le codage ajoute des bits aux données au niveau de l'émetteur, ces bits étant utilisés à la réception pour la détection des erreurs; par exemple le codage par blocs, et plus précisément le codage de Reed-Solomon. Le codage de Reed-Solomon est largement utilisé dans les systèmes actuels de communications numériques, par exemple dans les disques compacts et pour les communications mobiles et par satellite. Le code avec correction des bits erronés permet d'améliorer la qualité de fonctionnement des liaisons de télémesure.

Le code de Reed-Solomon est spécifié sous la forme $RS(n, k)$, où n est la longueur du mot de code et k est le nombre de symboles de données. Le codeur prend k symboles de données de s bits et ajoute un symbole de parité pour constituer un mot de code de longueur n . Il y a $n-k$ symboles de parité de s bits. D'une manière générale, la longueur maximale du mot de code peut être calculée à partir de $n = 2^s - 1$. Un décodeur de Reed-Solomon peut corriger jusqu'à t symboles qui contiennent des erreurs dans un mot de code, où $2t = n - k$. L'utilisation du codage de Reed-Solomon permet d'améliorer d'environ 5 dB la qualité de fonctionnement de la liaison.

6 Objectifs de disponibilité pour le service MetAids

L'indisponibilité des liaisons radioélectriques est la principale cause de l'indisponibilité de données en dehors de la défaillance des radiosondes ou de l'éclatement prématuré des ballons, qui peuvent conduire à une répétition du sondage. Il existe deux causes principales de dégradation de la disponibilité des liaisons radioélectriques: les conditions de propagation et les brouillages.

A la différence des systèmes de télécommunication pour lesquels l'indisponibilité est répartie statistiquement sur toute la durée d'exploitation, l'indisponibilité d'une radiosonde est principalement concentrée dans la dernière partie des mesures lorsque la radiosonde est située à sa plus grande distance au-dessus du sol et normalement à sa plus grande distance oblique du récepteur.

Le bilan de la liaison associée à une radiosonde dépend essentiellement de la distance entre la radiosonde et le récepteur qui, en général, augmente en même temps que l'altitude. Toute réduction de la disponibilité de la liaison pour quelque raison que ce soit (brouillages, par exemple) aura essentiellement une incidence sur les mesures à haute altitude qui représentent une partie critique des données collectées (qui seront perdues en raison de l'absence de redondance de la transmission) et limitera donc de facto la plage d'exploitation des radiosondes.

Les radiosondes permettent de mesurer in situ la pression atmosphérique, la température et l'humidité relative (PTU, *pressure, temperature and relative humidity*). La vitesse et la direction des vents sont déterminées soit par des systèmes NAVAID, soit par mesure radiogoniométrique de l'azimut et de l'angle d'élévation de la radiosonde par rapport à l'antenne de réception (RDF, *radio direction finding*).

Pour les radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz, une perte du signal qui dure plus de 10 s occasionne en général une perte de poursuite au niveau du récepteur au sol, et il est souvent difficile d'obtenir une seconde acquisition, toutes les informations provenant du vol étant alors perdues même lorsque le signal brouilleur disparaît. Le récepteur poursuit le signal de plus forte amplitude dans sa largeur de bande instantanée.

6.1 Conditions de propagation

La Recommandation UIT-R P.528 – «Courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique», donne en particulier les conditions de propagation dans les 300 et 1 200 MHz, ces conditions étant relativement comparables aux résultats d'essais sur le terrain, réalisés respectivement dans les bandes de fréquences à 403 et à 1 680 MHz.

Les Figures 1 et 2 donnent des extrapolations des courbes d'affaiblissement de transmission de la Recommandation UIT-R P.528 dans le cas particulier des radiosondes moyennant les hypothèses suivantes:

- disponibilité pendant 97% du temps (on a utilisé une formule donnée dans la Recommandation UIT-R P.618 pour extrapoler l'objectif de disponibilité de 95% donné dans la Recommandation UIT-R P.528);
- climat tempéré continental;
- distance maximale de trajet oblique de 300 km;
- dans les scénarios A, C et E, l'altitude de l'antenne de réception est de 15 m et l'altitude de l'antenne d'émission est respectivement de 1 000, 10 000 et 20 000 m;
- affaiblissement additionnel de 2,6 et 2,9 dB respectivement dans les bandes de fréquences à 403 MHz et à 1 680 MHz, afin de tenir compte de la différence de fréquence par rapport à ce qui est décrit dans la Recommandation UIT-R P.528.

FIGURE 1
Affaiblissement de transmission pendant 97% du temps dans la bande à 403 MHz

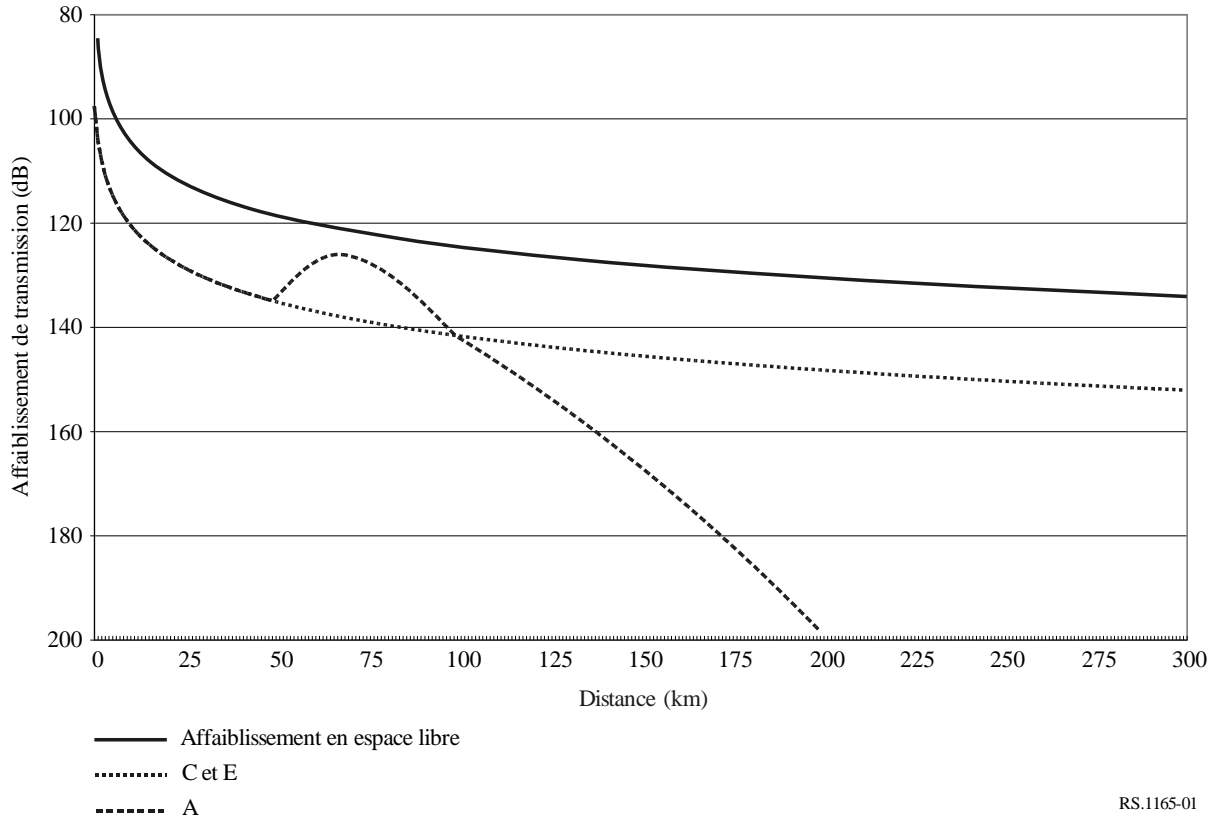
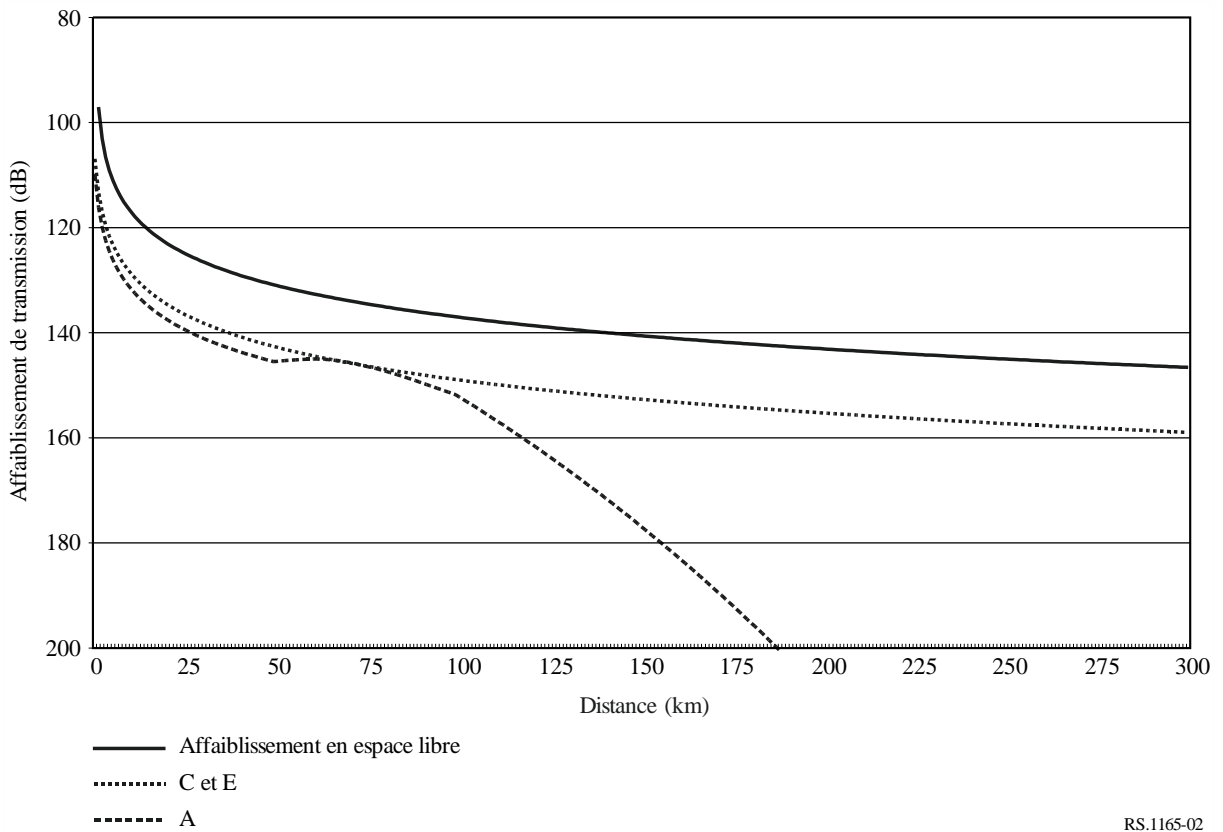


FIGURE 2
Affaiblissement de transmission pendant 97% du temps dans la bande à 1 680 MHz

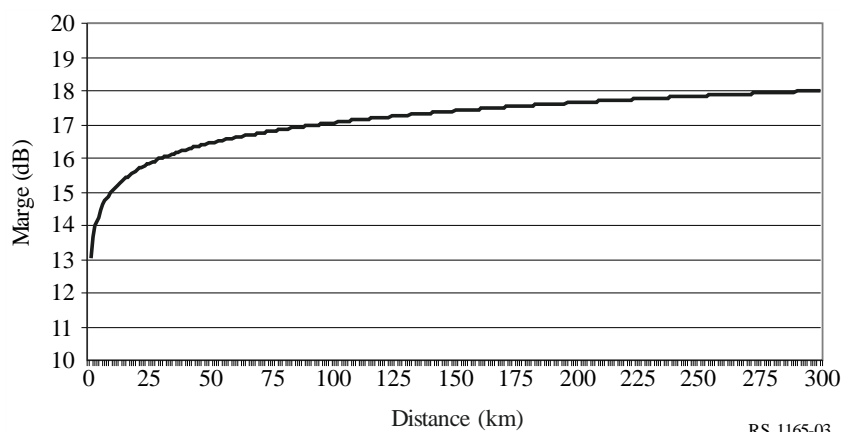


Il ressort de ces courbes que, dans la plage de distances représentative des radiosondages, les courbes C et E sont analogues. De plus, pour la courbe A, qui correspond à une altitude de radiosonde de 1 000 m, les affaiblissements de transmission sont analogues jusqu'à environ 50 km, alors que pour les distances plus grandes, on constate une grande différence. Toutefois, il est plus que probable que, à une altitude de 1 000 m, une radiosonde sera à une distance de trajet oblique inférieure à 50 km, ce qui signifie que, pour les deux bandes de fréquences, les courbes de propagation relatives à cette altitude de radiosonde sont analogues aux courbes relatives aux altitudes de radiosonde plus élevées (courbes en bleu).

Cela étant, les Figures 3 et 4 donnent la marge nécessaire pour les radiosondages avec une disponibilité de 97%, représentant la différence entre les courbes d'affaiblissement en espace libre et d'affaiblissement de transmission.

FIGURE 3

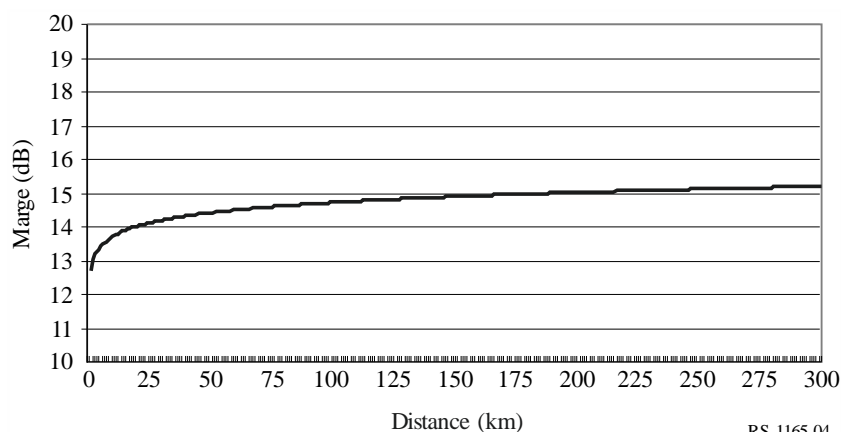
Marge nécessaire pendant 97% du temps dans la bande à 403 MHz



RS.1165-03

FIGURE 4

Marge nécessaire pendant 97% du temps dans la bande à 1 680 MHz



RS.1165-04

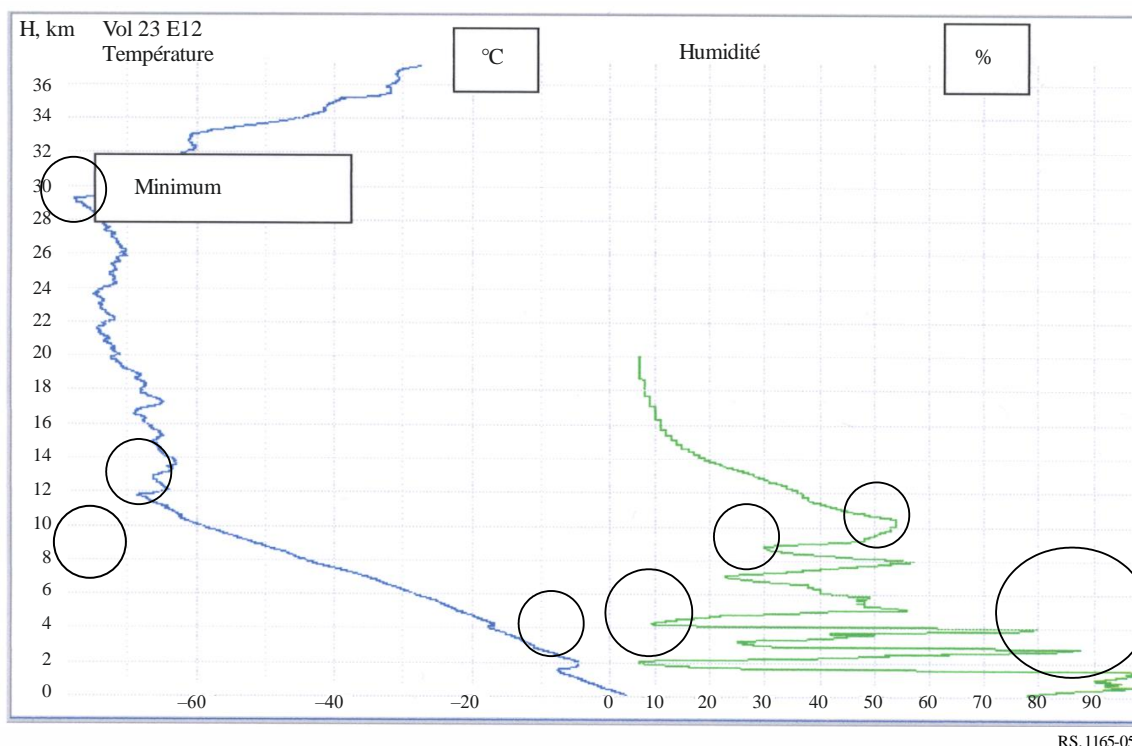
6.2 Périodes de vol critiques

D'une manière générale, dans tous les vols de radiosondes, il existe des périodes où les données peuvent être plus importantes qu'à d'autres périodes. Mais ces périodes ne peuvent pas être spécifiées en termes d'heure ou d'altitude. L'exemple donné sur la Fig. 5 est tiré du Manuel de l'OMM/UIT – «Utilisation du spectre radioélectrique pour la météorologie» (édition 2002). Il représente un graphe de la température et de l'humidité obtenu à partir d'un vol de radiosonde. La réception des données est importante tout au long du vol, mais la perte de données pendant un changement soudain de

température, d'humidité ou de vent (cercles sur la Fig. 5) peut avoir une grande incidence sur les capacités de prévision étant donné que la transition considérée ne peut pas être déterminée avec précision. Pour les études de brouillage, il convient d'accorder une importance égale à la totalité du profil des données.

FIGURE 5

Exemple de graphe du profil de température et d'humidité obtenu par une radiosonde



6.3 Objectifs de disponibilité des données pour les radiosondages synoptiques

Les objectifs de disponibilité des données varient, y compris dans les réseaux d'observations synoptiques. D'autres objectifs pourront être établis en fonction du service de météorologie, mais quatre catégories différentes peuvent être établies dans la présente Recommandation. La première catégorie inclut toutes les radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz (par exemple les systèmes A et B du § 7). La deuxième catégorie correspond aux nouvelles radiosondes numériques fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz (par exemple les systèmes C à F du § 7). La troisième catégorie correspond aux anciennes radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz (par exemple les systèmes C et D du § 7). La quatrième et dernière catégorie correspond aux nouveaux systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz (par exemple le système G du § 7).

6.3.1 Radiosondes fonctionnant dans la bande à 403 MHz

Les objectifs sont quelque peu différents pour les divers systèmes fonctionnant dans la bande à 403 MHz.

Pour les radiosondes analogiques fonctionnant dans la bande à 403 MHz, une limite maximale de 4 min est acceptable pour les périodes d'absence de données relatives à la pression, à la température, à l'humidité et aux vents. Pendant ces périodes d'absence de données, le système de traitement de la radiosonde va interpoler les valeurs. Si la période d'absence de données dépasse 4 min, les données sont alors considérées comme manquantes et les données relatives à ces périodes ne sont utilisées

dans aucun produit. Dans l'hypothèse d'un vol de 120 min, ces 4 min d'indisponibilité correspondent à un taux de disponibilité des liaisons requis de 97%. Le système utilise un critère additionnel: si la période d'absence de données du SRNS relatives aux vents dépasse 30 min à partir du sol, un nouveau vol pourrait être programmé. La disponibilité des données a la même importance à tous les niveaux du vol. L'examen de données de radiosondage obtenues dans environ 65 000 vols indique que la disponibilité des données relatives à la pression, à la température, à l'humidité et aux vents est de 98,5%.

En ce qui concerne les radiosondes numériques fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz, les objectifs de disponibilité des données sont les suivants:

- aucune perte de données n'est acceptable pendant le lancement des radiosondes (<100 m);
- pour la vitesse des vents:
 - de 100 m à 3 km au-dessus du sol, la disponibilité des données doit être d'au moins 97%;
 - de 3 km à la fin du vol, la disponibilité des données doit être d'au moins 95%;
- pour la pression, la température, l'humidité et les vents, la disponibilité des données doit être d'au moins 96% pour un vol de 120 min;
- en outre, une perte de données continue de plus de 5 min est inacceptable.

Actuellement, la grande majorité des utilisateurs de la bande de fréquences à 403 MHz sont passés des anciennes radiosondes analogiques aux nouveaux modèles numériques. Finalement, pour résumer, il semble que l'objectif de disponibilité des données soit de 97% pour les radiosondes analogiques comme pour les radiosondes numériques fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz.

6.3.2 Anciennes radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz

Le Tableau 2 donne les objectifs de disponibilité de liaison qu'il est proposé d'appliquer aux anciennes radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz. Toutes les limites indiquées dans la colonne relative aux pertes de données doivent être respectées pour que l'objectif global soit atteint. Les nombres ne sont pas cumulatifs; chaque objectif s'applique uniquement à la période spécifiée. En plus des objectifs du Tableau 2, l'absence et/ou le rejet de données relatives à la pression ou à la température ne doit pas durer plus de 3 min consécutives tout au long du vol.

TABLEAU 2

Objectifs de qualité de fonctionnement pour les radiosondages synoptiques en Amérique du Nord

Durée de vol (min)	Perte de données maximale pour 2% au plus des sondages (par site, par mois) ⁽¹⁾
0-120 (vol complet)	15 min (12,5 %)
0-5	60 s (20%)
5-15	2 min (20%)
15-30	3 min (20%)
30-60	6 min (20%)
60-120	12 min (20%)

⁽¹⁾ Les sondages pour lesquels l'objectif de 2% n'est pas respecté sont considérés comme des échecs et nécessitent un deuxième lancement si la détermination de l'échec est faite dans les 30 min après le lancement. Les vols pour lesquels l'objectif n'est pas respecté après la durée de 30 min sont classés comme étant des échecs.

L'objectif de disponibilité des données spécifié correspond aux pertes de données de toutes origines (brouillages, erreur d'un opérateur, panne d'un équipement, panne d'une radiosonde et données erronées d'un capteur). Pour la période couvrant la fin du vol (60-120 min), une perte de données maximale de 20% peut se produire. En outre, si un vol ne dure pas 120 min, il est également classé comme un échec. De nombreux facteurs peuvent réduire la durée d'un vol, y compris les brouillages, qui entraînent généralement une perte de verrouillage du système de réception sur le signal utile. Si le signal n'est pas acquis à nouveau en temps utile (environ 1 s ou moins), le contrôleur automatique de fréquence (CAF) du récepteur réglera le récepteur sur un autre signal d'intensité suffisante pour verrouiller le récepteur. Dans les systèmes RDF, le problème est aggravé par le fait que l'antenne, caractérisée par une petite ouverture de faisceau, perd le mouvement de la radiosonde. Pour ce système particulier, la perte du vol peut se produire avec des pertes de liaison supérieures à 0,8 s.

6.3.3 Nouveaux systèmes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz

Ces dernières années, les radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz tirent parti d'une technologie nouvelle permettant d'améliorer les caractéristiques RF et la qualité de fonctionnement des radiosondes. Ces modifications étaient nécessaires pour pouvoir augmenter la disponibilité et la précision des données à utiliser dans des modèles de prévision plus complexes qui sont sensibles aux pertes de données importantes. Un système a, par exemple, été conçu avec un objectif de disponibilité de 98%. Des tests ont montré que ce système respecte cet objectif de disponibilité. Comme dans le cas des systèmes plus anciens, l'objectif de disponibilité s'applique aux pertes de données de toutes origines. L'indisponibilité maximale de 2% doit être répartie entre toutes les origines de perte de données, y compris la défaillance de liaison pour cause d'évanouissements et les brouillages.

Dans la bande de fréquences à 1 680 MHz, les radiosondes sont déployées avec d'autres caractéristiques et d'autres objectifs de disponibilité des données. L'OMM a défini deux objectifs additionnels à prendre en considération.

Le premier objectif s'applique à une radiosonde de type F avec un système de réception F. L'objectif de disponibilité des données est défini comme suit:

- Chacune des radiosondes ne doit pas perdre plus de 4 min de données météorologiques au total pendant un vol de 120 min d'une radiosonde s'élevant à une vitesse de 300 ± 50 m par min jusqu'à une distance oblique de 250 km. Pour les vols de moins de 120 min en raison de l'éclatement du ballon ou pour une portée trop grande, la perte de données totale admissible doit correspondre à la durée réelle de vol en minutes divisée par 120, multipliée par la perte de données maximale spécifiée pour les données thermodynamiques ou les données de vitesse des vents et de position de la radiosonde.
- En outre, pour la perte de données pendant des périodes courtes, le système ne doit pas perdre plus de 15 s de données relatives à la pression, à la température, à l'humidité relative, à la position GPS ou à la vitesse des vents pendant toute période de 5 min au cours du vol. Si tel n'est pas le cas, le vol est un échec.

Le deuxième objectif défini par l'OMM s'applique à un système qui n'est pas mentionné dans la présente Recommandation. Ce système est vulnérable aux pertes de données pendant la phase initiale de l'ascension jusqu'à 1 km (autrement dit environ 200 s après le lancement), période pendant laquelle la vitesse angulaire de la radiosonde dans des conditions ventées et dans une géométrie défavorable peut être trop élevée pour que la poursuite réussisse en présence de brouillages. Cela peut se traduire par des données médiocres ou manquantes sur les vents pour la couche frontière. Au-delà de 1 km, si deux niveaux isobares standards ou plus (environ 10-15 min) sont manquants, on considère qu'il s'agit d'une perte de données inacceptable et le traitement des données est arrêté. Les endroits dans les profils pour lesquels il n'y a pas de données pour plus de 20 hPa devraient être marqués comme correspondant à des données manquantes. L'expérience pratique montre que, dans les conditions

normales, le niveau de perte de données pour ce système est négligeable à la fois pour la télémessure et pour la poursuite.

L'objectif de disponibilité des données pour les nouvelles radiosondes fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz est de 98%.

6.4 Récapitulatif concernant les objectifs de disponibilité des données

TABLEAU 3

Critères de qualité de fonctionnement des systèmes exploités dans le service MetAids

Système	Emplacement du récepteur	Distance maximale de la liaison (km)	S/N minimal du système (dB)	Objectif de disponibilité des données sur l'ensemble du vol (%)	Objectif de disponibilité des données pendant différentes périodes au cours du vol
Radiosonde RDF exploitée à 1 680 MHz	Sol	250	12	87,5	Voir le § 6.3.2
Radiosonde du SRNS exploitée à 1 680 MHz	Sol	250	12	97	15 s/5 mn (95%)
Radiosonde numérique exploitée à 403 MHz	Sol	250	12	97	–
Radiosonde numérique avec le système GPS exploitée à 403 MHz	Sol	250	12	97	–
Radiosonde NAVAID exploitée à 403 MHz avec antenne de réception à gain élevé	Sol ou navire	250	12	97	–
Radiosonde NAVAID exploitée à 403 MHz avec antenne de réception à faible gain	Sol ou navire	150	12	97	–
Radiosonde NAVAID exploitée à 403 MHz avec antenne de réception à gain élevé et récepteur numérique	Sol ou navire	250	7	97	–
Radiosonde NAVAID exploitée à 403 MHz avec antenne de réception à faible gain et récepteur numérique	Sol ou navire	250	7	97	–

7 Caractéristiques radioélectriques des radiosondes actuelles

Les radiosondes sont composées d'émetteurs de radiosonde et de stations de réception au sol associant un récepteur et une antenne.

7.1 Caractéristiques des émetteurs

Les caractéristiques types des émetteurs actuellement utilisés dans les bandes à 403 et à 1 680 MHz sont données dans les Tableaux 4 et 5.

TABLEAU 4

Caractéristiques radioélectriques des émetteurs de radiosonde fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz

Paramètre	Type A (analogique)	Type B (numérique)	Type C (numérique)	Type D (numérique)	Type E (numérique)
Plage de syntonisation (MHz)	400,15-406	400,15-406	400,15-406	400,15-405,9900	400,25-405,875
Dérive maximale en vol (kHz)	±800	±20	±2	±3	±5
Puissance de sortie nominale (dBm)	+24,0	+24,0	+ 18,5	20	18,5
Gain maximal de l'antenne (dBi)	2	2	2	3	2
Type d'émission UIT-R	F9D	F7D	F1D	F2D	F1D
Modulation	FM	GMSK	GFSK	QAM	FSK
Largeur de bande occupée (kHz) (niveau -40 dBc)	200	61	27,6	15	28
Émission hors bande (dBc)	< -43	< -48	< 49	< -37	< -48,5

TABLEAU 5

Caractéristiques radioélectriques des émetteurs de radiosonde fonctionnant dans la bande de fréquences à 1 680 MHz

Paramètre	Type G (analogique)	Type H (analogique)	Type I (numérique)
Plage de syntonisation (MHz)	1 668.4-1 700	1 668.4-1 700	1 675-1 683
Dérive maximale en vol (MHz)	±4	±4	±1
Puissance de sortie nominale (dBm)	+24,0	+24,0	+23,8
Gain maximal de l'antenne (dBi)	2,0	2,0	2,0
Gain minimal de l'antenne (dBi)	< -10	< -10	-4
Modulation	MA, 100%	MF	MDF
Signal modulant PTU (kHz)	0,7-1,0	7-10	Non applicable
Écart (kHz)	Non applicable	45 ± 15	< 50
Direction du vent	Détection des angles de réception	Détection des angles de réception	GPS

TABLEAU 5 (*fin*)

Paramètre	Type G (analogique)	Type H (analogique)	Type I (numérique)
Largeur de bande occupée	-40 dBc: 0,5 MHz -50 dBc: 1,0 MHz	180 kHz	120 kHz
Débit de données (bit/s)	1 200	1 200	2 400
Émission hors bande (dBc)	< -43	< -43	< -48

7.2 Systèmes de réception

7.2.1 Bande de fréquences à 403 MHz

Les caractéristiques types des récepteurs actuellement utilisés dans la bande de fréquences à 403 MHz sont données dans le Tableau 6 et les caractéristiques types des antennes de réception fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz sont données dans le Tableau 7.

TABLEAU 6

Caractéristiques des récepteurs fonctionnant dans la bande de fréquences à 403 MHz

Paramètre	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Type	Analogique	Numérique	Numérique	Numérique	Numérique
Plage de fréquences (MHz)	400,15-406	400,15-406	400-406	400,15-405,99	400,25-405,875
Modulation	MF	MDMG	MDFG	MAQ	MDF
Sensibilité (dBm pour le rapport S/N ou E_b/N_0 requis)	-104	-124	-122	-121	-119
S/N requis (dB)	12 ⁽²⁾	12	12 ⁽²⁾	12	12 ⁽²⁾
Largeur de bande FI (kHz)	300	6	11	17	18,8
Type de radiosonde	A	B	C	D	E
Type d'antenne de réception ⁽¹⁾	Antenne 2	Antenne 3	Antenne 2	Antenne 3	Antenne 4

⁽¹⁾ Voir le Tableau 7.

⁽²⁾ 12 dB pour une perte de données de 0,2, 7 dB pour une perte de poursuite de 0,02.

TABLEAU 7

**Caractéristiques des antennes de réception fonctionnant
dans la bande de fréquences à 403 MHz**

	Antenne 1	Antenne 2	Antenne 3	Antenne 4
Type	Équidirective (doublet, plan de sol)	Directive à coins réflecteurs (6 coins)	Équidirective (doublet)	Yagi orientable
Gamme de fréquences (MHz)	397-409	400-406	400-406	400-406
Gain du faisceau principal (dB)	Équidirective	8	2,15	11
Facteur de bruit de l'amplificateur (dB)	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 4,0
Gain de l'amplificateur (dB)	13	20	20	38
Affaiblissement d'insertion du filtre passe-bande	Non applicable	0,5	0,5	0,5
Largeur de bande du filtre passe-bande (MHz)	Non applicable	400-406	400-406	400-406

Les antennes 1 et 3 sont équidirectives dans le plan horizontal de sorte qu'aucun mouvement d'antenne et aucune commutation d'élément ne sont nécessaires pour poursuivre le signal de radiosonde. L'antenne 2 est un réseau constitué de six coins réflecteurs et d'une antenne doublet. Les coins réflecteurs et l'antenne doublet sont commutés par un commutateur à diode de manière à ce que l'élément donnant la meilleure réception soit raccordé au récepteur. L'antenne 4 est une antenne Yagi installée sur un mât orientable pour une poursuite en azimut. L'élévation du lobe principal est d'environ 20 degrés pour l'antenne 4.

FIGURE 6

Diagramme de rayonnement de l'antenne 3

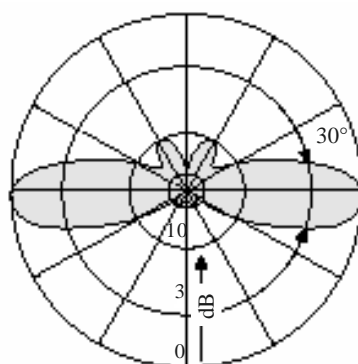
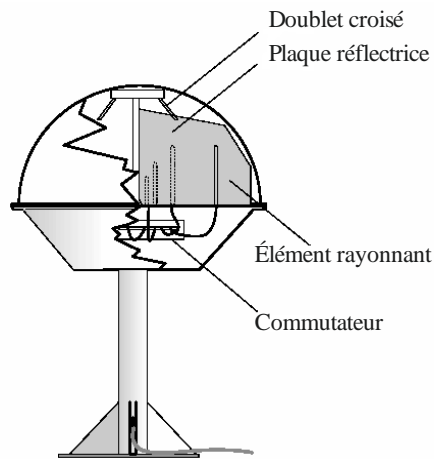


Diagramme dans le plan vertical

RS.1165-06

FIGURE 7

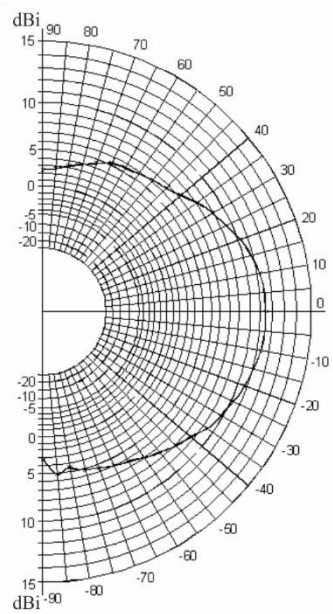
Illustration de l'antenne 2



RS.1165-07

FIGURE 8

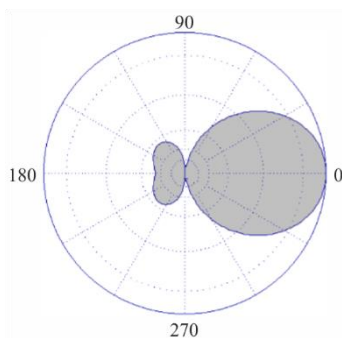
Diagramme de rayonnement (plan horizontal, angle de 12 degrés) de l'antenne 2



RS.1165-08

FIGURE 9

Diagramme de rayonnement de l'antenne 4



RS.1165-09

7.2.2 Bande de fréquences à 1 680 MHz

Les caractéristiques types des systèmes de réception actuellement utilisés dans la bande de fréquences à 1 680 MHz sont données dans le Tableau 8.

TABLEAU 8

Caractéristiques de l'antenne et du système de réception à 1 680 MHz

	Système G	Système H	Système I
Type	Réseau à déphasage	Balayage conique	Balayage conique ⁽¹⁾
Gamme de fréquences (MHz)	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700
Ouverture du faisceau à 3 dB (degrés)			
Horizontale	20	8,8	8,0
Verticale	15	8,8	8,0
Gain (dBi)	16	28	26
Affaiblissement dans les lobes latéraux (dB)	> 20 en direction de la réflexion spéculaire au sol sur terrain plat avec un angle d'élévation > 14°	15 à ± 60° par rapport à l'axe de visée	>20
Sensibilité (dBm) pour un rapport S/N de 12 dB	-110	-97	-106.8
Commande automatique de gain (dB)	110		123
Largeur de bande FI pour la mesure de PTU (kHz)	300	180	150
– Poursuite (MHz)	Non applicable	1,3	150

TABLEAU 8 (fin)

	Système G	Système H	Système I
Type	Réseau à déphasage	Balayage conique	Balayage conique ⁽¹⁾
Utilisé avec les types de radiosonde	G	DH	I

⁽¹⁾ Ce système n'utilise pas un vrai balayage conique dans lequel un réflecteur rotatif situé dans le cornet d'alimentation fait tourner le faisceau principal autour de l'axe de l'antenne. Il comprend quatre éléments discrets dans le cornet d'alimentation qui forment quatre faisceaux discrets dans les sens montant, descendant, gauche et droit pour la comparaison des niveaux des signaux et la poursuite.

8 Caractéristiques radioélectriques des catasondes

Les catasondes sont des capteurs météorologiques qui sont lâchés d'aéronefs et freinés par un parachute afin d'établir un profil de l'atmosphère. Elles peuvent être utilisées au-dessus des terres, mais elles sont généralement utilisées au-dessus des océans, endroits où il est impossible d'exploiter des sites de radiosonde. Les catasondes sont largement utilisées pour surveiller les conditions à l'intérieur des tempêtes tropicales, des ouragans et des typhons étant donné que l'aéronef peut les lâcher à des endroits importants à mesure qu'il traverse la tempête. Les catasondes transmettent les données captées à un récepteur à bord de l'aéronef. Un aéronef peut recevoir des données provenant simultanément de huit catasondes au maximum, et doit donc utiliser un système de réception multicanaux.

Les catasondes lâchées d'un aéronef traversent très rapidement l'atmosphère au-dessous du parachute. La perte de données même pendant une courte période peut conduire à une grande quantité de données manquantes pour des parties importantes de l'atmosphère. Toutes les données au cours de la descente sont critiques, mais de nombreuses applications accordent une plus grande importance aux dernières données mesurées avant que la catasonde atteigne la surface. Ces données représentent les conditions à la surface, qui sont critiques pour les prévisions météorologiques.

8.1 Pratiques opérationnelles concernant les catasondes

Les catasondes sont lâchées à des altitudes allant de 3 000 à 21 400 m et poursuivies jusqu'à la surface de la Terre. Un aéronef lâchant des catasondes peut, simultanément, poursuivre et recevoir les signaux de huit catasondes au maximum. Ainsi, l'aéronef peut lâcher des catasondes dans une tempête à des endroits particuliers et collecter des données provenant d'endroits importants dans la tempête. Les catasondes utilisent des récepteurs du SRNS pour mesurer les vents. Les données GPS relatives à l'emplacement des catasondes sont combinées et transmises avec les données mesurées relatives à la pression, à la température et à l'humidité.

Les catasondes sont essentiellement utilisées pour la surveillance des conditions à l'intérieur des tempêtes tropicales, des ouragans et des typhons. Elles permettent d'établir un profil de l'atmosphère à l'intérieur des grandes tempêtes lorsqu'elles sont encore loin des terres. Ces données sont critiques pour la surveillance de l'intensité de la tempête et pour la prévision de l'intensité et de la poursuite futures.

Les catasondes sont également utilisées dans le monde entier pour la recherche en météorologie et en climatologie au-dessus des océans et au-dessus des terres. Elles permettent de déployer rapidement une forte densité de capteurs dans des zones où il est impossible de déployer des stations de radiosonde. Leur utilisation permet aussi de reconfigurer rapidement le réseau par suite d'un changement de conditions, ce qu'il est impossible de faire rapidement avec des stations de radiosonde au sol.

8.2 Caractéristiques des catasondes

Les catasondes sont conçues pour fonctionner avec un récepteur à bord de l'aéronef. Les antennes fortement directives qu'il faut utiliser pour les activités dans la bande de fréquences à 1 680 MHz ne sont pas pratiques. Les catasondes sont conçues pour fonctionner dans la bande de fréquences à 403 MHz attribuée au service des auxiliaires de la météorologie, dans laquelle il est possible d'utiliser des antennes équidirectives à faible gain. On trouvera respectivement dans les Tableaux 9 et 10 les caractéristiques types des émetteurs et des récepteurs de catasonde.

TABLEAU 9

Caractéristiques des émetteurs de catasonde

Paramètre	Type 1
Plage de fréquences	400,15-406 MHz
Puissance de sortie de l'émetteur	21 dBm
Type d'antenne	Antenne unipolaire verticale
Gain de l'antenne	+ 2 dBi en direction de l'horizon
	-10 dBi en direction du zénith et du nadir
Modulation	MF (MDF à 640 bit/s et MDFA à 1 200 bit/s)
Largeur de bande d'émission	15 kHz
Altitude d'exploitation	De la surface à 21 400 m

TABLEAU 10

Caractéristiques des récepteurs de catasonde

Paramètre	Type 1
Plage de fréquences (multicanaux)	400,15-406 MHz (multicanaux)
Nombre de canaux de réception	8
Sensibilité du récepteur (pour un rapport S/N de 12 dB)	-121 dBm
Rapport S/N minimal pour la réception des données	12 dB
Largeur de bande FI (3 dB)	18 kHz
Type d'antenne	Antenne-lame équidirective
Altitude d'exploitation	De la surface à 21 400 m

8.3 Projets futurs concernant les catasondes

Plusieurs adaptations de la catasonde actuelle sont envisagées pour des applications plus avancées. Ces applications permettront de collecter des données additionnelles et de collecter des données dans des zones où la collecte de données est actuellement difficile.

La première future modification de la catasonde vise à pouvoir réaliser une fonction de bathythermographe embarqué à usage unique (AXBT, *airborne expendable bathythermograph*) une fois que la catasonde plonge dans l'océan. Outre la fourniture d'un profil des conditions

atmosphériques, la catasonde AXBT fournirait des données sur les conditions océanographiques, que les spécialistes des prévisions météorologiques pourraient utiliser dans les modèles de prévision.

On envisage également des applications dans lesquelles des catasondes seraient lancées par un ballon en dérive ou par un véhicule aérien inhabité. Ces systèmes permettraient de collecter régulièrement des données dans des zones au-dessus des océans où la collecte est actuellement peu fréquente voire inexistante.

9 Caractéristiques radioélectriques des fusées-sondes

Les fusées-sondes sont utilisées par des agences spatiales et d'autres utilisateurs qui ont des besoins de données qui ne peuvent pas être satisfaits avec l'utilisation de radiosondes ou de catasondes. Tout comme les catasondes, les fusées-sondes collectent des données atmosphériques au cours de leur descente à travers l'atmosphère. Au lieu d'être lâchées à partir d'aéronefs comme les catasondes, les fusées-sondes sont lancées rapidement dans l'atmosphère à bord d'une petite fusée à combustible solide et les données sont collectées à mesure que la fusée-sonde revient sur terre sous un parachute.

9.1 Pratiques opérationnelles concernant les fusées-sondes

Les fusées-sondes sont lancées par une petite fusée à combustible solide pour réaliser des mesures atmosphériques. On utilise aussi bien des fusées-sondes à basse altitude que des fusées-sondes à haute altitude. Les fusées-sondes ne sont pas très utilisées; néanmoins elles sont indispensables lorsque seule leur performance unique permet de répondre aux besoins de données.

La version à basse altitude est utilisée pour lancer très rapidement un appareil de mesure à une altitude d'environ 1 000 m de manière à pouvoir mesurer les conditions de couche limite. Dans cette version, le capteur est éjecté de la fusée à l'apogée.

La version à haute altitude est utilisée pour lancer des appareils de mesure de données atmosphériques à des altitudes (supérieures à 32 km) qui ne peuvent pas être atteintes avec des radiosondes lancées à bord de ballons. Après le lancement, le moteur de la fusée se consume rapidement à une altitude basse (environ 2 000 m) et se sépare d'une flèche qui transporte la charge utile de la fusée-sonde jusqu'à l'apogée (73 à 125 km). A l'apogée, la charge utile de la fusée-sonde est éjectée de la flèche et descend à travers l'atmosphère au-dessous d'un parachute. Outre la transmission des données météorologiques issues de la fusée-sonde, le parachute, qui est revêtu de mylar aluminisé, permet à un radar de poursuivre son enveloppe afin de mesurer les vents atmosphériques. La durée s'écoulant entre l'arrivée à l'apogée et la fin de la collecte des données à 14 km est généralement de 100 min. La poursuite de l'enveloppe par un radar est réalisée dans une bande de fréquences attribuée au service de radiopérage et non dans une bande de fréquences attribuée au service MetAids.

9.2 Caractéristiques des fusées-sondes

Les fusées-sondes sont exploitées dans la bande de fréquences à 403 MHz ou dans celle à 1 680 MHz. Dans les paragraphes suivants on donne les caractéristiques de ces systèmes. Le Tableau 11 contient les caractéristiques des émetteurs de fusée-sonde exploités dans la bande de fréquences à 403 MHz, et le Tableau 12 contient les caractéristiques des émetteurs de fusée-sonde exploités dans la bande de fréquences à 1 680 MHz.

TABLEAU 11

Émetteurs de fusée-sonde à basse altitude exploités dans la bande de fréquences à 403 MHz

Paramètre	Type 1
Plage de syntonisation (MHz)	400,15-406
Puissance de l'émetteur (dBm)	15,0
Modulation	MDFG
Altitude maximale (par rapport à la zone de lancement) (m)	~ 1 000
Portée maximale (km)	20

Concernant les caractéristiques des récepteurs utilisés avec des fusées-sondes exploitées dans la bande de fréquences à 403 MHz, on se reportera au Système B du Tableau 6. Concernant les antennes utilisées avec des fusées-sondes exploitées dans la bande de fréquences à 403 MHz, on se reportera à l'antenne 1 du Tableau 7.

TABLEAU 12

Émetteurs de fusée-sonde exploités dans la bande de fréquences à 1 680 MHz

Paramètre	Type 1
Plage de syntonisation (MHz)	1 680-1 684
Puissance de l'émetteur (dBm)	26,5
Modulation	MF
Altitude maximale (par rapport à la zone de lancement) (km)	82

Le Tableau 13 contient les caractéristiques des systèmes de réception exploités avec des fusées-sondes à 1 680 MHz.

TABLEAU 13

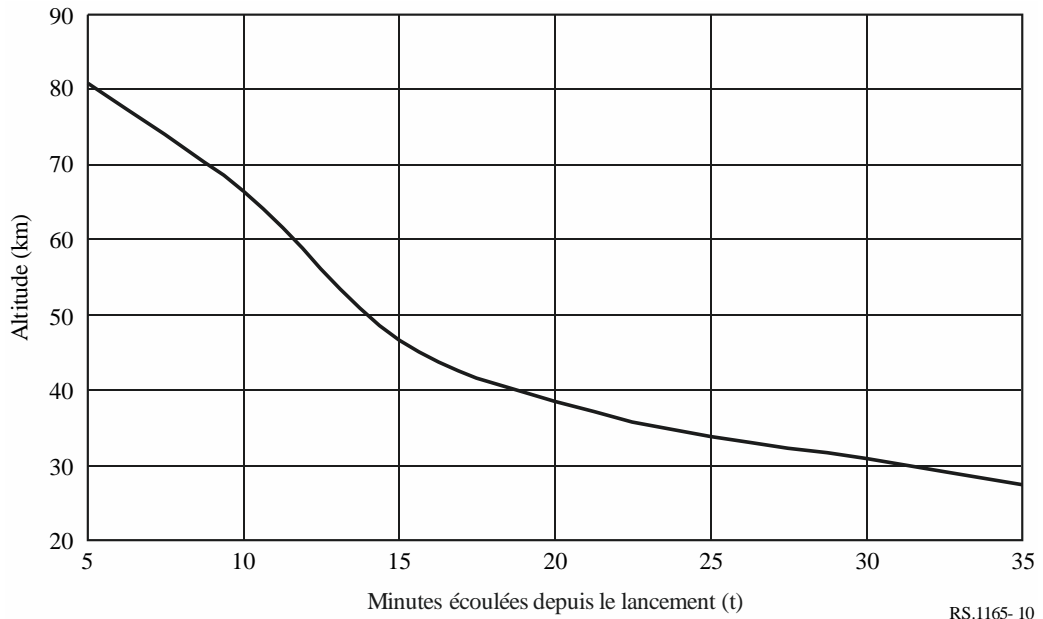
Antenne/récepteur de fusée-sonde exploités dans la bande de fréquences à 1 680 MHz

Paramètre	Type 1
Plage de syntonisation (MHz)	1 660-1 700
Ouverture de faisceau de l'antenne (degrés)	5,4
Gain de l'antenne (dBi)	29
Polarisation de l'antenne	Circulaire droite
Plage d'élévation (degrés)	-5 à 95
Facteur de bruit du récepteur (dB)	6,4
Modulation	MA et MF
Portée maximale (km)	300

9.3 Profil de descente des fusées-sondes

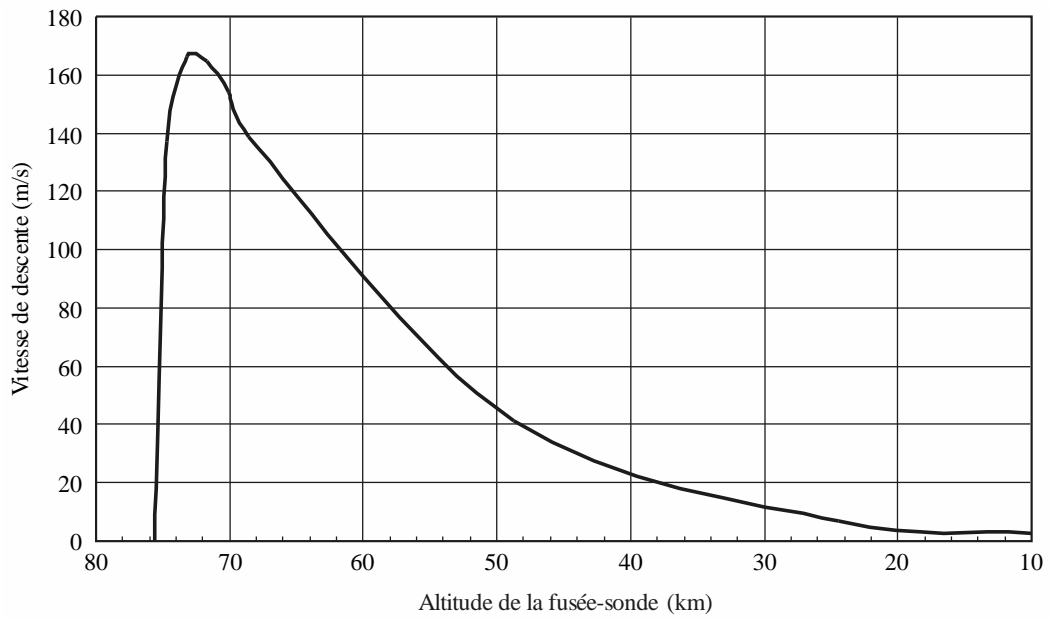
La descente d'une fusée-sonde n'est pas linéaire. Le profil de descente peut constituer un élément critique pour la réalisation de calculs ou de simulations afin de déterminer la compatibilité avec d'autres services de radiocommunications. Les Figures 10 et 11 donnent un profil de lancement/descente représentatif d'une fusée-sonde à haute altitude.

FIGURE 10
 Profil de descente d'une fusée-sonde à haute altitude
 (Altitude en fonction du temps)



RS.1165- 10

FIGURE 11
 Profil de descente d'une fusée-sonde à haute altitude
 (Vitesse de descente en fonction de l'altitude)



RS.1165- 11