

RECOMMANDATION UIT-R SA.1166-2

**CRITÈRES DE QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT ET DE BROUILLAGE
APPLICABLES AUX CAPTEURS SPATIAUX ACTIFS**

(Question UIT-R 140/7)

(1998-1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la télédétection par capteurs spatiaux hyperfréquences actifs nécessite des gammes de fréquences spécifiques, selon les phénomènes physiques à observer;
- b) que certaines bandes de fréquences ont été attribuées pour la télédétection par capteurs spatiaux hyperfréquences actifs;
- c) que ces bandes sont également attribuées à d'autres services de radiocommunication;
- d) qu'il faut établir des objectifs de qualité de fonctionnement pour être en mesure de définir des critères de brouillage et de partage;
- e) que des études ont permis de définir les niveaux de sensibilité de mesure requis;
- f) que les caractéristiques de qualité de fonctionnement des capteurs actifs peuvent être formulées en termes de précision de mesure des paramètres physiques et de disponibilité, mesurées au niveau du satellite, la dégradation due à d'autres éléments du système étant supposée peu importante;
- g) qu'il faut établir des objectifs de qualité de fonctionnement des capteurs spatiaux hyperfréquences actifs pour être en mesure de définir les critères de brouillage associés;
- h) qu'il est nécessaire de disposer de critères de brouillage pour faire en sorte que les systèmes soient conçus pour un fonctionnement adéquat en présence de brouillage, pour évaluer la compatibilité avec les systèmes d'autres services et, si nécessaire, pour faciliter l'élaboration de critères de partage des bandes de fréquences entre services;
- j) que l'utilisation pour les capteurs actifs de bandes de fréquences proches de la bande des 400 MHz est étudiée conformément à la Résolution 727 (CMR-97).
- k) que l'Annexe 1 expose les bases techniques de calcul des critères de qualité de fonctionnement et de brouillage à partir de divers capteurs actifs représentatifs,

recommande

1 d'adopter pour la télédétection active à la surface de la Terre, à la surface des océans et dans l'atmosphère, les objectifs de qualité de fonctionnement suivants:

1.1 Au voisinage de 400 MHz**1.1.1 Radars à ouverture synthétique**

- Pour les radars à ouverture synthétique, une réflectivité minimale de –39 dB pour la collecte d'images.

1.2 Au voisinage de 13-14 GHz**1.2.1 Altimètres**

- Pour les altimètres, une précision de mesure du niveau de la mer d'au moins 3 cm.
- Une augmentation du bruit de mesure de 0,1 cm, correspondant à une dégradation de 4% en présence d'un bruit de mesure systématique de 2-2,4 cm serait compatible avec les objectifs des missions.

1.2.2 Diffusiomètres

- Précision de mesure de vitesse des vents: égale ou supérieure à 3 m/s.

1.2.3 Radars de mesure des précipitations

- Les milieux scientifiques recherchent, après traitement des données, une capacité de mesure de taux de précipitation au moins égale à 0,7 mm/h.
- Une valeur mesurable légèrement supérieure à 0,75 mm/h n'aurait pas d'effet matériel sur les données et serait acceptable comme critère de qualité.

1.3 35,5-36,0 GHz

1.3.1 Altimètres

- Pour les altimètres, une précision de mesure du niveau de la mer d'au moins 3 cm.
- Une augmentation du bruit de mesure de 0,1 cm, correspondant à une dégradation de 4% en présence d'un bruit de mesure systématique de 2-2,4 cm serait compatible avec les objectifs des missions.

1.3.2 Diffusiomètres

- Précision de mesure de vitesse des vents: égale ou supérieure à 3 m/s.

1.3.3 Radars de mesure des précipitations

- Les milieux scientifiques recherchent, après traitement des données, une capacité de mesure de taux de précipitation au moins égale à 0,15 mm/h.
- Une valeur mesurable légèrement supérieure à 0,2 mm/h n'aurait pas d'effet matériel sur les données et serait acceptable comme critère de qualité.

1.3.4 Radars profileurs de nuages

- Pour les radars profileurs de nuages, une réflectivité minimale de –30 dBZ pour la mesure du profil de réflectivité correspondant à tous les nuages se trouvant dans le champ de visibilité.
- Une dégradation de Z_{min} inférieure à 10% en présence de brouillage serait compatible avec les objectifs des missions.

1.4 94-94,1 GHz

1.4.1 Radars profileurs de nuages

- Pour les radars profileurs de nuages, une réflectivité minimale de –30 dBZ pour la mesure du profil de réflectivité correspondant à tous les nuages se trouvant dans le champ de visibilité.
- Une dégradation de Z_{min} inférieure à 10% en présence de brouillage serait compatible avec les objectifs des missions;

2 d'adopter pour la télédétection active à la surface de la Terre, à la surface des océans et dans l'atmosphère, les critères de brouillage suivants:

2.1 Au voisinage de 400 MHz

2.1.1 Radars à ouverture synthétique

- La puissance du signal brouilleur ne doit pas dépasser –138 dBW (correspondant à un rapport brouillage surbruit de –6 dB) dans une largeur de bande de référence de 10 MHz pour plus de 1% des images provenant de la zone de service du capteur. Ce niveau de brouillage peut être dépassé si on prend en considération l'effet d'atténuation du brouillage dû à la discrimination dans le traitement par le radar à ouverture synthétique et les caractéristiques de modulation des systèmes de radiopérage ou de radionavigation fonctionnant dans la bande.

2.2 Au voisinage de 5,3 GHz, de 13 à 14 GHz et de 35,5 à 36,0 GHz

2.2.1 Altimètres

- Pour éviter tout accroissement inacceptable du bruit de mesure, il conviendrait de limiter le niveau de puissance global des signaux brouilleurs à –119 dB(W/320 MHz) à l'entrée du récepteur de l'altimètre fonctionnant entre 13 et 14 GHz, à –123 dB(W/100 MHz) à l'entrée du récepteur de l'altimètre fonctionnant au voisinage de 5,3 GHz, et à –112 dB(W/450 MHz) à l'entrée du récepteur de l'altimètre fonctionnant entre 35,5 et 36,0 GHz.

2.2.2 Diffusiomètres

- Pour les diffusiomètres à antenne à faisceau en éventail, la densité spectrale de puissance brouilleuse maximale admissible par le diffusiomètre sans dégradation de la précision de mesure est de -174 dBW à l'entrée du récepteur du diffusiomètre sur toute largeur de bande de 2 kHz dans une largeur de bande de canal de traitement de 1 MHz.
- Pour les diffusiomètres à antenne à faisceau ponctuel, la densité spectrale de puissance brouilleuse maximale admissible par le diffusiomètre sans dégradation de la précision de mesure est de -155 dBW à l'entrée du récepteur du diffusiomètre fonctionnant au voisinage de 5,3 GHz et entre 13 et 14 GHz, et de -158 dBW à l'entrée du récepteur du diffusiomètre fonctionnant au voisinage de 35,5-36,0 GHz sur toute largeur de bande de 10 kHz dans une largeur de bande de canal de traitement de 1 MHz.

2.2.3 Radars de mesure des précipitations

- Le critère de brouillage préjudiciable applicable aux radars de mesure des précipitations est une valeur globale de niveau de puissance du signal brouilleur de -150 dB(W/600 kHz) à 13-14 GHz et une valeur de niveau de puissance du signal de -152 dB(W/600 kHz) à 35,5-36,0 GHz à l'entrée du récepteur du radar, ce qui correspond à une dégradation du niveau de bruit dans le système de 10%, due à un brouillage assimilable à du bruit.

2.2.4 Radars profileurs de vent

- Le critère de brouillage préjudiciable applicable aux radars profileurs de vent est un niveau de puissance globale des signaux brouilleurs de -155 dB(W/300 kHz) à l'entrée du récepteur du radar profileur de vent fonctionnant entre 35,5 et 36,0 GHz, ce qui correspond à une dégradation du niveau de bruit dans le système de 10%, due à un brouillage assimilable à du bruit.

2.3 94-94,1 GHz

2.3.1 Radars profileurs de nuages

- Le critère de brouillage préjudiciable applicable aux radars profileurs de nuages est un niveau de puissance globale des signaux brouilleurs de -155 dB(W/300 kHz) à l'entrée du récepteur du radar profileur de nuages, ce qui correspond à une dégradation du niveau de bruit dans le système de 10%, due à un brouillage assimilable à du bruit;

3 d'adopter, dans les bandes de fréquences partagées, les valeurs de disponibilité des données de télédétection par capteur actif suivantes:

- pour les altimètres et les diffusiomètres, plus de 95% des emplacements couverts par la zone de service du capteur lorsque les pertes sont aléatoires et plus de 99% lorsque les pertes se produisent systématiquement aux mêmes emplacements;
- pour les radars de mesure des précipitations, plus de 99,8% des emplacements couverts par la zone de service du capteur;

4 d'adopter les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage ci-après pour la télédétection active à la surface de la Terre, à la surface des océans et dans l'atmosphère par des radars à ouverture synthétique fonctionnant au voisinage de 400 MHz, au voisinage de 1,25 GHz, de 5,3 GHz à 8,6 GHz et à 9,6 GHz:

- une dégradation de l'écart type normalisé de la puissance reçue correspondant à un pixel inférieure à 10% en présence de brouillage serait compatible avec les objectifs des missions;
- le critère de brouillage préjudiciable applicable aux radars à ouverture synthétique est un rapport puissance globale de brouillage sur puissance de bruit inférieure à -6 dB (correspondant à un support signal sur bruit (S/N) par pixel de 0 dB), ce qui correspond à un niveau de brouillage de -138 dB(W/10 MHz) pour un radar à ouverture synthétique fonctionnant au voisinage de 400 MHz, par exemple. Ce niveau peut être dépassé si on prend en considération l'effet d'atténuation du brouillage dû à la discrimination dans le traitement par le radar à ouverture synthétique et les caractéristiques de modulation des systèmes de radiopérage ou de radionavigation fonctionnant dans la bande;
- le niveau de brouillage maximal admissible ne doit pas être dépassé pour plus de 1% des images provenant de la zone de service du capteur dans les cas de brouillages systématiques et pour plus de 5% des images provenant de la zone de service du capteur dans les cas de brouillages aléatoires.

ANNEXE 1

Critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs spatiaux actifs dans les bandes 13-14 GHz et 35,5-36,0 GHz

1 Introduction

Il est nécessaire de définir des objectifs de qualité de fonctionnement applicables aux capteurs spatiaux actifs pour pouvoir élaborer des critères de brouillage. A leur tour, les critères de brouillage peuvent servir à évaluer la compatibilité des systèmes de radionavigation et de radiolocalisation et des capteurs actifs exploités dans des bandes de fréquences communes.

La présente Annexe expose les bases techniques de l'élaboration de critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux types de capteurs actifs exploités dans les bandes 13-14 GHz et 35,5-36,0 GHz du spectre des fréquences radioélectriques. Les capteurs considérés sont les altimètres, les diffusiomètres et les radars de mesure des précipitations.

Bien que ces critères soient établis en fonction des types de systèmes scientifiques et spatiaux actuels et prévus et de leurs caractéristiques de fonctionnement, on s'attend que les futurs systèmes pourront, par conception, accepter à tout le moins les mêmes niveaux de signaux brouilleurs et les conditions spatio-temporelles associées.

2 Altimètres

2.1 Critères de qualité de fonctionnement

Les altimètres embarqués à bord d'engins spatiaux donnent, après traitement des données, des mesures du niveau de la mer dont la précision est meilleure que 3 cm. Le niveau de bruit observé dans les mesures de hauteur de vague effectuées par ces équipements est de l'ordre de 2-2,4 cm pour des mers peu agitées. Un accroissement de 0,1 cm du bruit dû à un brouillage n'aurait aucune incidence matérielle sur les données et serait acceptable. En d'autres termes, une dégradation de 4% du bruit serait compatible avec les objectifs des missions.

Dans le cas des mesures altimétriques, on impose un taux d'acquisition des données mesurables sur les océans de 90%. L'objectif recherché à la conception est plus rigoureux que la valeur minimale: 95% de toutes les données possibles. Les observations doivent être effectuées aussi près que possible de l'interface terre-mer, la distance maximale par rapport à la terre étant de 30 km. Le bilan de pertes doit couvrir toutes les sources de pertes de données, qu'elles soient imputables aux satellites, à l'altimètre, aux manœuvres, etc.

Le critère de disponibilité des données altimétriques est de 95%, avec par hypothèse des interruptions brèves et réparties de façon aléatoire sur l'ensemble de la période d'observation et des régions (la plupart des interruptions ne dépassant pas 2 s).

L'effet d'un brouillage toujours présent en un lieu donné est beaucoup plus sérieux que celui d'un brouillage aléatoire, du fait qu'il n'est pas possible de procéder à des mesures lorsque le brouillage est constant. En conséquence, l'objectif applicable aux altimètres est l'obtention de données valables pour 99% de l'ensemble des régions géographiques intéressantes.

2.2 Critères de brouillage

Les altimètres types présentent des bilans de liaison qui se traduisent par un rapport signal/bruit, S/N , de 13 dB dans la largeur de bande de résolution du récepteur, qui est de 39,9 dB/Hz. La loi de variation du bruit de mesure de l'altimètre est de forme $1 + 2/(S/N)$. Pour un signal de retour présentant un S/N de 13 dB avant brouillage, les brouillages se répercutent comme suit sur le bruit de mesure de la hauteur:

Niveau de brouillage	S/N (dB)		Dégradation (%)	
	Brouillage non blanc	Brouillage blanc	Brouillage non blanc	Brouillage blanc
Nul	13	13	Niveau de référence	Niveau de référence
10 dB au-dessous du bruit	12,6	12,99	1	0,05
3 dB au-dessous du bruit	11,25	12,5	4,5	1
Egal au bruit	10	11,5	9	3,8
10 dB au-dessus du bruit	2,6	3	91	82

Au-dessus d'une dégradation du bruit de mesure de 4%, les objectifs de la mission ne peuvent pas être atteints. Pour tenir compte d'un brouillage non gaussien, on fixe le seuil de brouillage à 3 dB au-dessous du plancher de bruit. Comme on peut le voir, la dégradation de qualité de fonctionnement augmente fortement dès que le niveau de brouillage dépasse le niveau plancher.

En conséquence, le critère de brouillage préjudiciable, dans le cas des altimètres, est un niveau global de puissance du signal brouilleur de -117 dB(W/320 MHz) à 13-14 GHz et un niveau de -112 dB(W/450 MHz) à 35,5-36,0 GHz qui entraînerait un accroissement inacceptable du bruit de mesure de la hauteur.

Dans les bandes de fréquences partagées, la disponibilité de données altimétriques doit dépasser 95% du potentiel de tous les emplacements couverts par la zone de service du capteur lorsque les pertes sont aléatoires et être supérieure à 99% lorsque les pertes se produisent systématiquement aux mêmes lieux géographiques.

3 Diffusiomètres

Toute émission radioélectrique brouilleuse qui parvient aux bornes du récepteur d'un diffusiomètre est susceptible de perturber les mesures du paramètre σ_0 qui est le coefficient de rétrodiffusion normalisé du radar. Le niveau de dégradation dépendra de la statistique du brouillage externe.

3.1 Critères de qualité de fonctionnement

Dans les diffusiomètres, on estime tout d'abord la puissance du signal de retour en mesurant la puissance «signal + bruit» (c'est-à-dire l'écho plus le bruit du système), pour soustraire ensuite la puissance du «bruit seul» (estimation du bruit du système ou «plancher de bruit»). Le bruit du système comprend les émissions thermiques émanant de la Terre ainsi que les composantes dues à l'antenne et aux guides d'ondes, et le bruit du récepteur. Pour optimiser le fonctionnement du système, on procède aux mesures «signal + bruit» et «bruit seul» sur différentes largeurs de bande et à différentes heures. La procédure se justifie par le fait que le bruit nominal intrinsèque du système est blanc pendant la mesure (stationnaire, avec une distribution spectrale plate de la puissance).

En présence de brouillage extérieur, le nouveau bruit de fond composite est la somme du brouillage et du bruit nominal du système. Selon le niveau du signal brouilleur et sa modulation, le diagramme de rayonnement de l'antenne et la géométrie du signal brouilleur, il se peut que le bruit composite ne soit pas blanc pendant la mesure. La mesure «bruit seul» ne correspond alors pas au bruit de la mesure «signal + bruit» et il en résulte des erreurs d'estimation de σ_0 .

L'erreur estimative sur σ_0 qui résulte d'une erreur de mesure de «bruit seul» donnée peut être quantifiée par l'équation suivante:

$$\text{Erreur sur } \sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log [1 + (\alpha - 1) / \text{SNR } \sigma_0] \quad (1)$$

où:

$$\text{SNR } \sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log (S/N) = \text{rapport signal/bruit de mesure de } \sigma_0$$

avec:

S : densité spectrale de puissance du signal renvoyé

N : densité spectrale de puissance du bruit plancher nominal (environ -200 dB(W/Hz) aux bornes d'entrée du récepteur du diffusiomètre aussi bien dans le cas d'une antenne à faisceau en éventail que dans le cas d'une antenne à faisceau ponctuel)

et

$$\alpha \text{ (dB)} = 10 \log ([N + (I_{s+n} / B_{s+n})] / [N + (I_n / B_n)]) \quad (2)$$

avec:

I_{s+n} : puissance moyenne de la source brouilleuse dans B_{s+n} pendant la mesure «signal + bruit»

B_{s+n} : largeur de bande de mesure «signal + bruit»

I_n : puissance moyenne de la source brouilleuse dans B_n pendant la mesure «bruit seul»

B_n : largeur de bande de mesure «bruit seul».

L'incidence du brouillage externe est plus sensible dans le cas des faibles vitesses de vent. La plus petite vitesse de vent que doivent pouvoir mesurer les diffusiomètres spatiaux est de 3 m/s. Des simulations sur ordinateur de brouillages non stationnaires occasionnés à des diffusiomètres NSCAT ont montré que la valeur maximale de α (voir l'équation (2)) permettant de respecter les normes de qualité de fonctionnement pour une vitesse du vent de 3 m/s est de 0,7 dB.

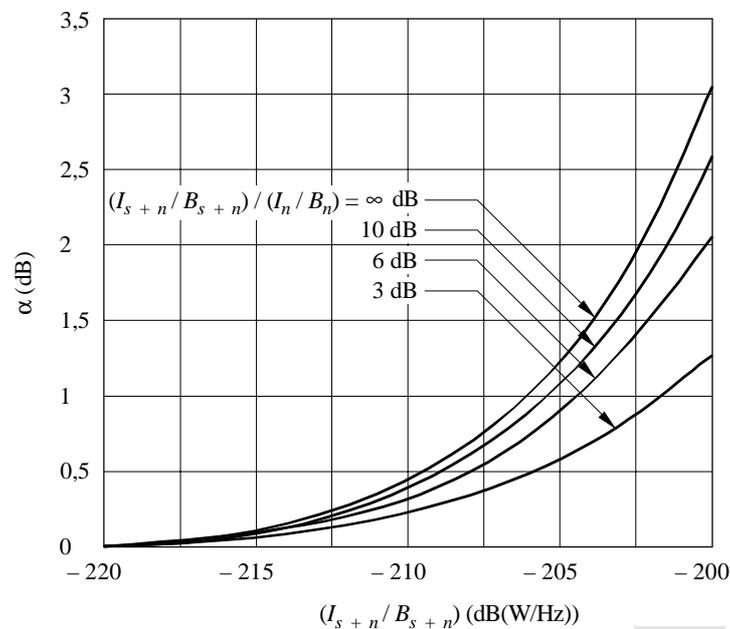
A l'avenir, les diffusiomètres pourront être dotés d'antennes à faisceau ponctuel plutôt que d'antennes à faisceau en éventail comme dans le cas des instruments de type NSCAT. Les principales différences entre les deux types de diffusiomètres, en dehors du diagramme de rayonnement de l'antenne, sont la p.i.r.e. à l'émission et le gain d'antenne de réception. Des simulations sur ordinateur effectuées pour des brouillages non stationnaires ont montré qu'une valeur maximale de $\alpha = 6$ dB (voir l'équation (2)) peut être tolérée avec une antenne à faisceau ponctuel puisque, dans ce cas, les objectifs de qualité de fonctionnement pour des vitesses de vent de 3 m/s sont encore respectés.

Le pourcentage admissible de perte de données diffusiométriques due aux brouillages occasionnés par des stations d'émission réparties de façon aléatoire au-dessus des océans est de 5% de l'ensemble des données collectées au-dessus des océans du globe. Dans le cas d'un brouillage systématique, la perte admissible est de 1%. On entend par brouillage systématique la perte de couverture des mêmes lieux sur la plupart des passages à la verticale de ces lieux. Ces valeurs maximales de pertes admissibles ont été calculées à partir du critère scientifique NSCAT (mesure de 90% des vecteurs de vent au-dessus de l'ensemble des océans de la planète) et compte tenu des autres pertes de données à répartition aléatoire observées essentiellement dans les zones caractérisées par des précipitations intenses.

3.2 Critères de brouillage

La Fig. 1a représente l'application de l'équation (2) au cas d'un diffusiomètre présentant un bruit plancher de réception $N = -200$ dB(W/Hz). Ici, α est exprimé en fonction de la densité spectrale de puissance du signal brouilleur (I_{s+n}/B_{s+n}) . Il convient de noter que l'on obtiendra différentes valeurs de α selon l'évolution du brouillage par rapport au temps ou par rapport à la largeur de bande. La Fig. 1a donne une famille de courbes correspondant à différentes valeurs du paramètre $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$.

FIGURE 1a



1166-01a

Le décalage temporel entre la période de mesure «signal + bruit» et le centre de la période de mesure «bruit seul» est d'environ 0,23 s. Pendant cet intervalle de temps, le déplacement angulaire du diffusiomètre embarqué par rapport à un point spécifique du sol est d'environ $0,1^\circ$. L'ouverture du faisceau d'antenne en éventail étant étroite ($0,42^\circ$ à 3 dB), on peut s'attendre à des modifications de plusieurs dB du niveau du signal brouilleur reçu lorsque les lobes latéraux du diffusiomètre traversent le faisceau d'un émetteur. Par expérience, on a supposé que la variation maximale prévisible de

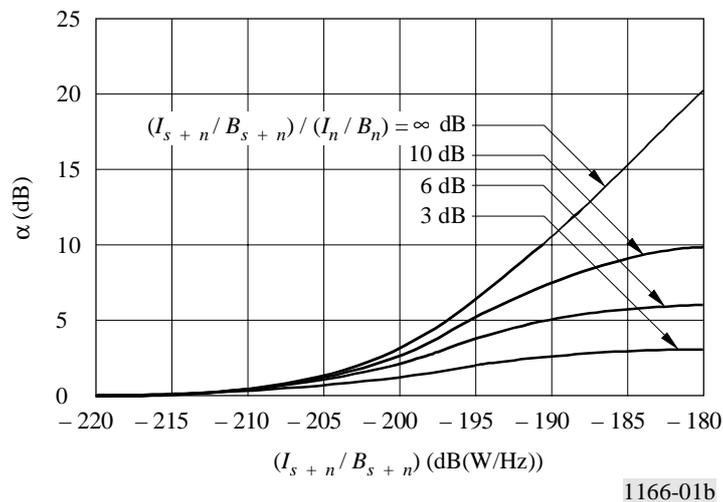
l'expression $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ pendant la période de mesure était de 6 dB. A partir de la Fig. 1a, on peut dire que la densité maximale de puissance spectrale brouilleuse pouvant être supportée sans altération de la précision de mesure par l'une quelconque des six antennes à éventail du diffusiomètre NSCAT est de -207 dB(W/Hz) ou -174 dBW sur toute largeur de bande de 2 kHz dans la largeur de bande du canal de traitement de 1 MHz.

Dans le cas d'un brouillage assimilable à du bruit blanc, la densité maximale acceptable de puissance spectrale brouilleuse serait d'environ -194 dB(W/Hz) à l'entrée du récepteur, ce qui correspond à un critère de brouillage de -161 dBW sur toute largeur de bande de 2 kHz dans la largeur de bande du canal de traitement de 1 MHz.

Dans le cas d'un bruit non blanc, le critère de brouillage pour un diffusiomètre utilisant une antenne à faisceau ponctuel peut être déterminé pour l'hypothèse la plus défavorable de $10 \log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)] = \pm\infty$. Cette situation représente le cas dans lequel le brouillage est présent pendant la mesure «signal + bruit» ou pendant la mesure «bruit seul», mais non pas pendant ces deux intervalles simultanément.

A partir de la Fig. 1b, on peut dire que la densité spectrale de puissance brouilleuse maximale pouvant être supportée sans dégradation de la précision de mesure par l'antenne à faisceau ponctuel d'un diffusiomètre de type NSCAT est de -195 dB(W/Hz) . Ce critère doit être respecté pour toute largeur de bande de 10 kHz dans la largeur de bande globale du canal de traitement de 1 MHz.

FIGURE 1b



Pour un brouillage assimilable à du bruit blanc, la densité de puissance spectrale brouilleuse maximale serait d'environ -185 dB(W/Hz) à l'entrée du récepteur dans le cas d'un diffusiomètre équipé d'une antenne à faisceau ponctuel.

Dans les bandes de fréquences partagées, la disponibilité de données diffusiométriques doit être supérieure à 95% des lieux couverts par la zone de service du capteur lorsque les pertes se produisent de façon aléatoire et doit dépasser 99% dans le cas où la perte se produit systématiquement aux mêmes lieux.

4 Radars de mesure des précipitations

4.1 Radars de mesure des précipitations fondés sur la mission TRMM

Le premier radar spatial de mesure des précipitations sera le radar TRMM, qui a été lancé en 1997.

On a procédé à une analyse des objectifs de mission et des principes de conception du radar TRMM en vue de définir des critères de qualité de fonctionnement et de brouillage susceptibles d'être ultérieurement appliqués à l'évaluation de la compatibilité des radars de mesure des précipitations et des systèmes de radionavigation et de radiolocalisation. Les critères de brouillage sont définis par référence au niveau de brouillage considéré comme préjudiciable et au volume admissible des données perdues par suite de ce brouillage compte tenu des objectifs de la mission.

4.1.1 Critères de qualité de fonctionnement

Avec le radar TRMM, les milieux scientifiques veulent avoir la possibilité de mesurer des taux de précipitation d'au moins 0,7 mm/h, après traitement des données. Une augmentation de cette valeur (0,75 mm/h) n'aurait aucun effet matériel sur les données et serait acceptable comme critère de qualité de fonctionnement.

Le radar TRMM permettra de mesurer les taux de précipitation en tout point du globe situé à $\pm 35^\circ$ de latitude, valeur déterminée par l'inclinaison de l'orbite. On cherche alors à collecter toutes les données disponibles, mais les mesures effectuées dans la Zone de convergence intertropicale, déterminée par l'équateur et la latitude 10° N ainsi que dans la Zone de convergence du Pacifique sud qui s'étend du littoral australien au Pacifique sud, sont particulièrement importantes. Ces zones véritablement critiques sont délimitées par les positions suivantes: 0° - 10° N et 50° - 180° E, 0° - 10° S. Les précipitations tropicales sont déterminantes dans la répartition des eaux sur la planète. Les précipitations sont les plus abondantes au voisinage de l'équateur et plus des deux-tiers concernent les tropiques. Ces précipitations libèrent une énergie qui favorise la circulation atmosphérique autour de l'ensemble du globe et déterminent ainsi le temps et les conditions climatiques. Les précipitations tropicales jouent également un rôle fondamental dans les anomalies climatiques intermittentes, qui sous l'appellation «El Niño», sont à l'origine des inondations et des sécheresses. L'obtention d'ensembles de données scientifiques multi-annuelles de mesure des précipitations en milieu tropical et subtropical est capitale pour comprendre selon quels mécanismes les interactions entre les océans, l'atmosphère et les masses terrestres provoquent des modifications du régime des précipitations et des climats à l'échelle du globe. De telles mesures ne peuvent être obtenues qu'avec des satellites.

Compte tenu de ce qui précède, les chercheurs du projet TRMM ont établi que les besoins en données de mesure des précipitations dépendent de la région considérée. Les zones les plus critiques sont la Zone de convergence intertropicale et les lieux géographiques «de référence» qui vont permettre de corréler les données obtenues à l'aide des radars de mesure des précipitations aux mesures effectuées simultanément par des moyens de Terre. L'un des critères de perte de données dans la Zone de convergence intertropicale en présence de brouillages aléatoires est de 0,2% du total des données pouvant être recueillies.

4.1.2 Critères de brouillage

Une augmentation de la «résolution minimale» de mesure des taux de précipitation de 0,7 à 0,75 mm/h correspond à une dégradation du niveau de bruit du système due à un brouillage assimilable à du bruit de 10%. En conséquence, le brouillage doit être à 10 dB au-dessous du niveau de bruit du système. Du fait que le niveau de bruit du système est de -140 dBW et que la largeur de bande finale du radar de mesure des précipitations est de 600 kHz, le critère de brouillage préjudiciable est de -150 dB(W/600 kHz). En dehors de la bande de 12 MHz comprise entre 13,793 GHz et 13,805 GHz, le niveau de brouillage admissible est beaucoup plus élevé en raison du filtrage passe-bande au niveau du récepteur: -115 dBW pour les bandes 13,790-13,793 GHz et 13,805-13,808 GHz, -90 dBW pour les bandes 13,75-13,79 GHz et 13,808-13,850 GHz et -70 dBW pour la bande 13,85-13,86 GHz. A 35,5-36,0 GHz, le critère de brouillage préjudiciable est de -152 dB(W/600 kHz).

Dans les bandes de fréquences partagées, la disponibilité de données de mesure par radar devra dépasser 99,8% du potentiel de l'ensemble des lieux couverts par la zone de service du capteur dans le cas de pertes de nature aléatoire.

4.2 Radars de mesure des précipitations découlant de la mission complémentaire TRMM

4.2.1 Introduction

La bande de fréquences 35,5-36,0 GHz a été attribuée aux capteurs spatiaux actifs d'observation de la Terre à titre primaire par la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1997) (CMR-97) sur la base des résultats de l'étude de compatibilité entre capteurs actifs et radars du service de radiolocalisation (service bénéficiant d'attributions primaires dans cette bande). Une étude de compatibilité a été réalisée en utilisant comme capteurs spatiaux actifs les altimètre et diffusiomètre spatiaux. Elle a montré que ces capteurs actifs et des radars de radiolocalisation sont compatibles. La présente Annexe décrit les caractéristiques techniques ainsi que les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage d'un radar spatial de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz pour donner un autre exemple des capteurs actifs qui utiliseront la bande 35,5-36,0 GHz. Il contient également une analyse de compatibilité préliminaire entre le radar de mesure des précipitations proposé et le radar de radiolocalisation, à comparer avec l'étude effectuée avec l'altimètre spatial.

4.2.2 Mission complémentaire TRMM et radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 35 GHz

Le satellite TRMM a été lancé en novembre 1997; cette mission a permis d'obtenir un ensemble exceptionnel de données extrêmement utiles sur la répartition des précipitations dans le monde et de démontrer les avantages potentiels de ce type de données dans les domaines des prévisions climatiques et météorologiques, de l'hydrologie, etc. Pour faire suite à cette première mission, une mission complémentaire TRMM est actuellement à l'étude.

Afin de couvrir une zone plus large en latitude par rapport à celle correspondant à 35° de latitude choisie lors de la première mission TRMM, il faut accroître la région d'observation et obtenir des mesures d'une plus grande sensibilité dans le cadre de la mission complémentaire TRMM. Pour ce faire, il est prévu d'embarquer à bord du satellite de la mission complémentaire TRMM deux radars de mesure des précipitations fonctionnant respectivement dans la bande des 35 GHz et dans la bande des 13 GHz. Le Tableau 1 indique les principales caractéristiques du satellite de la mission complémentaire TRMM.

TABLEAU 1

Principales caractéristiques du satellite de la mission complémentaire TRMM

Objet	Mesure de la répartition dans le monde des précipitations
Altitude de l'orbite	400 km (provisoire)
Inclinaison de l'orbite	60°-75°
Capteurs embarqués	Radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 13 GHz Radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 35 GHz Imageur à hyperfréquences, radiomètre dans le visible/infrarouge, etc.

4.2.3 Caractéristiques techniques du radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 35 GHz

Le Tableau 2 indique les caractéristiques techniques du radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 35 GHz qui devrait faire partie des instruments embarqués à bord du satellite de la mission complémentaire TRMM. Ce radar sera utilisé essentiellement pour effectuer des mesures haute sensibilité. La réflectivité minimale détectable du radar recherchée doit être au moins inférieure à 14 dBZ et le taux de précipitation résultant inférieur à 0,2 mm/h, valeurs que ne permet pas d'obtenir le radar fonctionnant dans la bande des 13 GHz. Contrairement à la fonction de balayage de faisceau du radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 13 GHz, celle du radar fonctionnant dans la bande des 35 GHz serait seulement limitée. Le faisceau de l'antenne serait fixé sur le nadir ou balayerait un angle de quelques degrés par rapport au nadir.

TABLEAU 2

Caractéristiques (provisaires) du radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 35 GHz de la mission complémentaire TRMM

Fréquence centrale	35,55 GHz
Puissance d'émission de crête	200 W
Largeur d'impulsion	1,67 µs
Fréquence de récurrence des impulsions	2 627 Hz
Modulation d'impulsions	Aucune
Gain de l'antenne	51,5 dBi
Orientation de l'antenne	Nadir ou balayage limité
Diamètre de l'antenne	1,2 m (efficacité = 0,7)
Largeur du faisceau de l'antenne	0,5°
Résolution horizontale	3,5 km
Largeur de bande d'émission RF	14 MHz
Largeur de la bande de base du récepteur	600 kHz
Niveau de bruit du système (facteur de bruit = 4 dB)	-142 dB(W/600 kHz)
Perte d'alimentation à l'émetteur/récepteur	2,5 dB

4.2.4 Critères de qualité de fonctionnement et de brouillage

4.2.4.1 Critères de qualité de fonctionnement

Les «faibles précipitations» étant plus fréquentes en pourcentage dans la région située à une latitude élevée que dans la région tropicale, il faut les mesurer le plus souvent possible pour obtenir une estimation non biaisée des données statistiques de la répartition des précipitations dans la première région nommée. La mission complémentaire TRMM doit notamment chercher à obtenir des valeurs de mesure du taux de précipitation inférieures à 0,2 mm/h. C'est pourquoi on a retenu comme critère de qualité de fonctionnement du radar de mesure des précipitations dans la bande des 35 GHz une valeur de réflectivité radar minimale détectable inférieure à 14 dBZ.

4.2.4.2 Critères de brouillage

La valeur de réflectivité radar de 14 dBZ correspond à un taux de précipitation de 0,15 mm/h. La dégradation acceptable peut atteindre 0,2 mm/h. Cette dégradation de la qualité de fonctionnements correspond à une augmentation de 10% de la température de bruit du système, ou à une augmentation d'environ 0,5 dB du niveau de bruit. Ce critère est fondamentalement identique à celui du radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 13 GHz. En ce qui concerne le critère de la perte de données due au brouillage, le radar de mesure des précipitations dans la bande des 35 GHz pourrait utiliser le même critère que le radar de mesure des précipitations fonctionnant dans la bande des 13 GHz. Les critères de brouillage applicables au radar de mesure des précipitations dans la bande des 35 GHz peuvent être résumés comme suit:

- niveau de brouillage admissible: -152 dB(W/600 kHz)
 - perte de données admissible due au brouillage: 0,2%.
-