

RECOMMANDATION UIT-R RS.1166-3

**Critères de qualité de fonctionnement et de brouillage
applicables aux capteurs spatiaux actifs**

(1998-1999-2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation donne les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs spatiaux actifs exploités dans les bandes attribuées au SETS (active). L'Annexe donne les bases techniques à utiliser pour élaborer les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux divers types de capteurs spatiaux actifs. Les types de capteurs comprennent les altimètres, les diffusiomètres, les radars de mesure des précipitations, les radars à ouverture synthétique et les radars profileurs de nuages.

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'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'appliquer les critères de qualité de fonctionnement donnés dans le Tableau 1 aux instruments utilisés pour la télédétection active à la surface de la Terre, à la surface des océans et dans l'atmosphère.

TABLEAU 1

Bande de fréquences	Critères de qualité de fonctionnement applicables aux instruments de télédétection				
	Diffusiomètre	Altimètre	Radar à ouverture synthétique	Radar de mesure des précipitations	Radars profileurs de nuages
432-438 MHz			Réflexivité minimale de -21 dB		
1 215-1 300 MHz			Réflexivité minimale de -32 dB		
3 100-3 300 MHz		Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm	Réflexivité minimale de -26 dB		
5 250-5 570 MHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s	Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm	Réflexivité minimale de -24 dB		
8 550-8 650 MHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s	Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm	Réflexivité minimale de -21 dB		
9 500-9 800 MHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s	Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm	Réflexivité minimale de -18 dB		
13,25-13,75 GHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s	Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm		Taux minimum de précipitations compris entre 0,7 et 0,75 mm/h	
17,2-17,3 GHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s			Taux minimum de précipitations compris entre 0,7 et 0,75 mm/h	
24,05-24,25 GHz				Taux minimum de précipitations compris entre 0,7 et 0,75 mm/h	
35,5-36 GHz	Vitesse du vent ≥ 3 m/s	Précision pour le niveau de la mer ≤ 3 cm		Taux minimum de précipitations compris entre 0,1 et 0,2 mm/h	-17 dBZ \pm 10%
78-79 GHz					-27 dBZ \pm 10%
94-94,1 GHz					-30 dBZ \pm 10%
133,5-134 GHz					-34 dBZ \pm 10%
237,9-238 GHz					-44 dBZ \pm 10%

dBZ: Unité de réflectivité des radars utilisée en météorologie qui représente un rapport de puissance logarithmique (en décibels ou dB) par rapport au facteur de réflectivité radar, Z, rapporté à une valeur de $1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$.

2 d'appliquer les critères de brouillage et de disponibilité des données (données dans le Tableau 2) aux instruments utilisés pour la télédétection active à la surface de la Terre, à la surface des océans et dans l'atmosphère.

TABLEAU 2

Type de capteur	Critère de brouillage		Critère de disponibilité des données (%)	
	Dégradation de la qualité de fonctionnement	I/N (dB)	Systématique	Aléatoire
Radar à ouverture synthétique	Dégradation de 10% de l'écart type de puissance par pixel	-6	99	95
Altimètre	Dégradation de 4% du bruit en altitude	-3	99	95
Diffusiomètre	Dégradation de 8% des mesures de la rétrodiffusion radar normalisée pour déduire la vitesse du vent	-5	99	95
Radar de mesure des précipitations	Accroissement de 7% du taux minimum de précipitations	-10	N/A	99,8
Radar profileur de nuages	Dégradation de 10% de la réflectivité minimale des nuages	-10	99	95

Annexe 1

Critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs spatiaux actifs

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 divers types de capteurs actifs spatiaux. Les capteurs considérés sont les altimètres, les diffusiomètres et les radars de mesure des précipitations, les radars à ouverture synthétique et les radars profileurs de nuages.

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

Le présent paragraphe donne des informations sur les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux altimètres spatiaux exploités dans les bandes de fréquences 3,1-3,3 GHz, 5,25-5,57 GHz, 8,55-8,65 GHz, 9,5-9,8 GHz, 13,25-13,75 GHz et 35,5-35,6 GHz.

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, (à moins de 15 km de l'interface terre-mer, on observe des distorsions des signaux des altimètres qui empêchent d'avoir une estimation précise de la hauteur). 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 S/N de 13 dB (sauf pour les altimètres fonctionnant dans la bande 35,5-36 GHz) 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 dû à l'altitude:

Niveau de brouillage	S/N (dB)		Dégradation (%)	
	Brouillage (autre que le bruit blanc)	Brouillage (bruit blanc)	Brouillage (autre que le bruit blanc)	Brouillage (bruit 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

Pour les altimètres fonctionnant dans la bande 35,5-36 GHz, en raison des effets de l'atmosphère et de certaines contraintes technologiques, le bilan de liaison est moins favorable (rapport S/N proche de 10 dB) et la sensibilité au brouillage est plus grande de sorte qu'il faut tenir compte des valeurs suivantes:

Niveau de brouillage	S/N (dB)		Dégradation (%)	
	Brouillage (autre que le bruit blanc)	Brouillage (bruit blanc)	Brouillage (autre que le bruit blanc)	Brouillage (bruit blanc)
Aucun	10	10	Ligne de base	Ligne de base
10 dB au-dessous du bruit	9,6	9,98	1,7	0,08
6 dB au-dessous du bruit	9,0	9,9	4,2	0,5
3 dB au-dessous du bruit	8,2	9,5	8,4	1,2
1,5 dB au-dessous du bruit	7,7	9,1	11,8	3,8
Egal au bruit	7,0	8,5	17	6,9
10 dB au-dessus du bruit	-0,4	0	167	150

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 -119 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

Le présent paragraphe donne des informations sur les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux diffusiomètres spatiaux exploités dans les bandes de fréquences 5,25-5,57 GHz, 8,55-8,65 GHz, 9,5-9,8 GHz, 13,25-13,75 GHz, 17,2-17,3 GHz et 35,5-36,0 GHz. Il donne les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux diffusiomètres spatiaux actifs qui peuvent être utilisés pour analyser la compatibilité entre les diffusiomètres spatiaux actifs et les systèmes de radionavigation et de radiolocalisation exploités dans ces bandes.

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:

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

où:

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

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

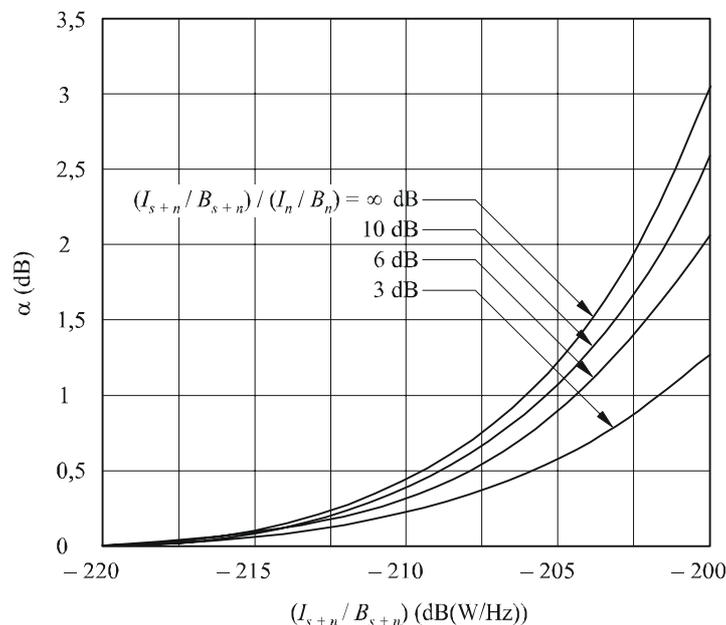
simulations sur ordinateur effectuées pour des brouillages non stationnaires ont montré qu'une valeur maximale de $\alpha = 6$ dB (voir l'équation (2)) peut être tolérée avec une antenne à faisceau ponctuel puisque, dans ce cas, les objectifs de qualité de fonctionnement pour des vitesses de vent de 3 m/s sont encore respectés.

Le pourcentage admissible de perte de données diffusionométriques 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 diffusionmètre 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 diffusionmètre 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 diffusionmètre 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.

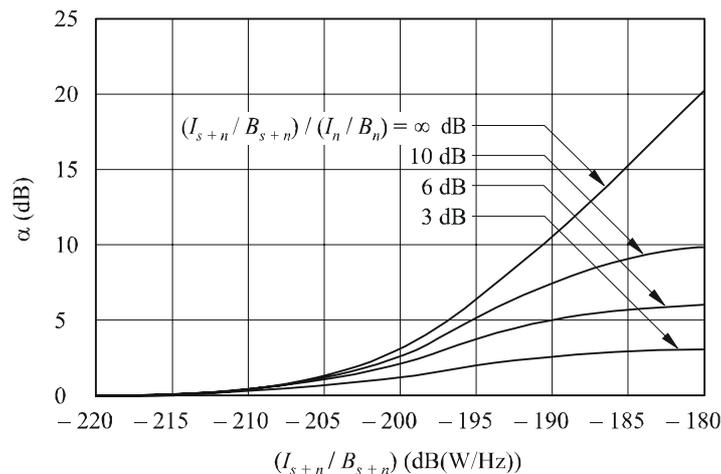
A partir de la Fig. 1a, on peut dire que la densité maximale de puissance spectrale brouilleuse pouvant être supportée sans altération de la précision de mesure par l'une quelconque des six antennes à éventail du diffusiomètre NSCAT est de -207 dB(W/Hz) ou -174 dBW sur toute largeur de bande de 2 kHz 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



1166-01b

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

Le présent paragraphe donne des informations sur les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux radars spatiaux de mesure des précipitations exploités dans les bandes de fréquences 13,25-13,75 GHz, 24,05-24,25 GHz et 35,5-36,0 GHz. Ces critères peuvent être utilisés

pour analyser la compatibilité entre les radars spatiaux actifs de mesure des précipitations et les systèmes de radionavigation et de radiolocalisation exploités dans ces bandes.

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 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.

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 en projet.

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. Pour ce faire, il est prévu d'embarquer à bord du satellite de la mission complémentaire un radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz et un radar de mesure des précipitations fonctionnant à 13 GHz. Le Tableau 3 indique les principales caractéristiques du satellite de la mission complémentaire.

TABLEAU 3

Principales caractéristiques de la mission complémentaire du radar de mesure des précipitations

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 à 13 GHz Radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz Imageur à hyperfréquences, radiomètre dans le visible/infrarouge, etc.

4.2.3 Caractéristiques techniques du radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz

Le Tableau 4 indique les caractéristiques techniques du radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz qui devrait faire partie des instruments embarqués à bord du satellite de la mission complémentaire du radar de mesure des précipitations. 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 à 13 GHz. Contrairement à la fonction de balayage de faisceau du radar de mesure des précipitations fonctionnant à 13 GHz, celle du radar fonctionnant à 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 4

Caractéristiques (provisoires) du radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz de la mission complémentaire

Fréquence centrale	35,55 GHz
Puissance d'émission de crête	200 W
Largeur d'impulsion	1,67 μ s
Fréquence de répétition 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 du radar de mesure des précipitations 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 fonctionnant à 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 à 13 GHz. En ce qui concerne le critère de la perte de données due au brouillage, le radar de mesure des précipitations fonctionnant à 35 GHz pourrait utiliser le même critère que le radar de mesure des précipitations fonctionnant à 13 GHz.

Les critères de brouillage applicables au radar de mesure des précipitations fonctionnant à 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%.

5 Radars à ouverture synthétique

Le présent paragraphe donne des informations sur les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs des radars imageurs actifs spatiaux exploités dans les bandes de fréquences 432-438 MHz, 1 215-1 300 MHz, 3 100-3 300 MHz, 5 250-5 570 MHz, 8 550-8 650 MHz et 9 500-9 800 MHz. Ces critères peuvent être utilisés pour analyser la compatibilité entre les capteurs des radars imageurs spatiaux actifs et les systèmes de radionavigation et de radiolocalisation exploités dans ces bandes.

5.1 Critères de qualité de fonctionnement applicables aux radars à ouverture synthétique

Les radars spatiaux à ouverture synthétique (SAR, *synthetic aperture radar*) sont utilisés habituellement pour cartographier la surface du sol. Au fur et à mesure du déplacement de l'engin spatial, une ouverture synthétique est créée; le temps d'ouverture se situe habituellement entre 0,2 et 1,5 s. Tous les signaux brouilleurs pendant ce temps d'ouverture affectent les images prises de la caractéristique considérée. De nombreux radars à ouverture synthétique sont utilisés pour prendre des images essentiellement des zones terrestres et des transitions terre/mer au niveau des côtes. Les expérimentateurs retiennent un nombre fini de sites sélectionnés pour prendre des images pour un certain nombre d'angles d'incidence, avec une légère dérive des orbites et une fréquence de répétition des orbites allant de un à huit jours. Tout brouillage qui fausse les données provenant d'un site terrestre retenu par les expérimentateurs pendant l'une quelconque des séquences aurait des conséquences négatives sur les résultats obtenus. Les radars SAR permettent aussi d'établir des cartes topographiques qui peuvent être utilisées pour les modèles numériques d'altitude. Certains radars SAR utilisent l'interférométrie par passages répétés pour établir des cartes topographiques. Tout brouillage pendant l'un des passages aurait des conséquences négatives sur les résultats obtenus. Un radar SAR embarqué à bord d'un satellite sur une orbite à 233 km d'altitude, avec une fréquence de répétition de 10 jours, a collecté des données d'interférométrie SAR en ligne de base fixe pendant les passages ascendants dans les bandes 5 250-5 350 MHz et 9 500-9 800 MHz ainsi que des données SAR normales dans la bande 1 215-1 300 MHz. Une seconde antenne de réception fonctionnant dans les bandes 5 250-5 350 MHz/9 500-9 800 MHz montée sur un bras télescopique à 30 m de l'antenne principale a collecté des données simultanément avec l'antenne principale et a fourni ainsi des données d'interférométrie sans avoir à répéter le passage. Un radar SAR à balayage, fonctionnant dans la bande 5 250-5 350 MHz a permis de collecter des données sur une zone de 230 km de large et d'assurer une couverture totale pour les latitudes situées entre $\pm 60^\circ$. Tout brouillage de l'un quelconque des signaux reçus simultanément a eu des conséquences négatives sur le fonctionnement du capteur.

Une exigence pour les missions topographiques ou d'imagerie SAR est que 99% des données soient acquises sur les sites sélectionnés (zones terrestres ou transitions terre/océan). Ce chiffre concernant la perte de données est différent de celui pour d'autres sources de perte de données, par exemple les pertes dues aux systèmes spatiaux, aux instruments SAR, etc.

Le critère de disponibilité en ce qui concerne les données SAR est de 99%, dans l'hypothèse où les pertes de données sont de courte durée et aléatoires sur le temps et les zones d'acquisition des données. La présence de brouillages systématiques en un lieu géographique donné constitue un problème plus sérieux, en particulier si ces brouillages se produisent sur l'un des sites retenus par les expérimentateurs où il se peut que soient réalisées simultanément des expériences de mesure des

paramètres physiques du sol et des expériences de validation. Si des brouillages se produisent en un lieu géographique donné lors de missions topographiques scansar, il pourrait y avoir des trous dans la carte de couverture mondiale.

5.2 Critères de brouillage applicables aux radars SAR

Les critères de brouillage applicables aux radars imageurs embarqués ont été fixés de la même manière que ceux qui sont donnés dans le Tableau 2. Dans le Tableau 2, les critères de brouillage applicables aux radars à ouverture synthétique sont exprimés sous forme d'un rapport brouillage/bruit (I/N) de -6 dB, ce qui correspond à une dégradation de la qualité de fonctionnement de 10% de l'écart type de la puissance par pixel du radar SAR.

Ce niveau de brouillage peut être dépassé si l'on tient compte de l'effet de limitation des brouillages lié à la discrimination de traitement du radar SAR et aux caractéristiques de modulation des systèmes de radiolocalisation/de radionavigation exploités dans la bande. Ces niveaux peuvent être dépassés pour des pourcentages d'images de moins de 1% en cas de brouillage systématique et de moins de 5% en cas de brouillage aléatoire.

Les données brutes fournies par les radars SAR sont traitées en portée et en azimut pour construire une image radar. Le signal retour d'une cible ponctuelle subit un étalement fréquentiel linéaire en portée et en azimut. Le processeur corrèle les données dans les deux dimensions et le gain de traitement se situe habituellement entre 20 et 40 dB pour l'écho retour. Les gains de traitement sont beaucoup plus faibles pour les signaux de bruit et les signaux brouilleurs. Le gain en portée du bruit du récepteur est d'environ 0 dB. Pour un même niveau d'entrée que le bruit, les gains de traitement pour les signaux brouilleurs sont différents et dépendent du type de modulation du signal.

5.2.1 Gain de traitement du bruit

Le bruit du système rapporté à la borne de l'antenne se compose essentiellement du bruit de l'antenne et du bruit du récepteur frontal. Ce bruit peut être modélisé sous forme d'un processus de bruit blanc, de bruit stationnaire et de bruit gaussien. Le corrélateur du processeur est essentiellement un filtre adapté pour les impulsions modulées linéairement en fréquence ou impulsions «chirp». Le gain de traitement en portée pour le bruit est de 0 dB. Le gain de traitement en azimut est égal à N^2 dans le cas d'une intégration cohérente de N signaux retour pendant une ouverture synthétique et de N pour le bruit. Il y a un temps d'intégration de l'ouverture synthétique et il faut une fréquence de répétition des impulsions (FRI) appropriée pour pouvoir traiter les pixels et obtenir une certaine taille de résolution en azimut ρ_{AZ} comme suit:

$$G_{NAZ} = T_I FRI$$

$$T_I = \frac{\lambda R_S}{v L_{eff}}$$

$$FRI = 1,2 \frac{v}{\rho_{AZ}}$$

où:

- G_{NAZ} : gain de traitement en azimut
- T_I : temps d'intégration en azimut du radar SAR
- FRI : fréquence de répétition des impulsions
- λ : longueur d'onde
- R_S : distance oblique
- v : vitesse de la plate-forme spatiale

L_{eff} : longueur équivalente de l'antenne en azimut

ρ_{AZ} : résolution en azimut.

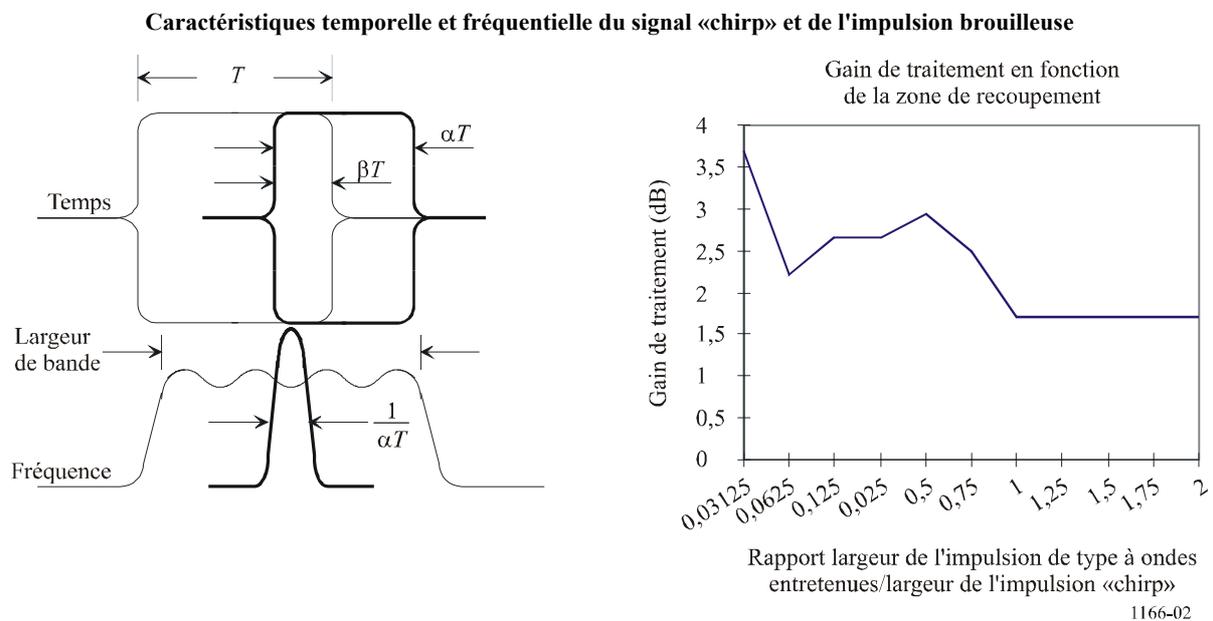
A titre d'exemple, pour le radar SAR3 à proximité de 9,6 GHz, $\lambda = 0,03125$ m, $R_S = 535,8$ km pour un angle d'incidence de 20° , $v = 7,05$ km/s, et $L_{eff} = 1,56$ m, alors $T_I = 1,52$ s. Pour $\rho_{AZ} = 1$ m, $FRI = 8\,460$ Hz, et le gain de traitement en azimut pour le bruit G_{NAZ} est de 41,1 dB.

5.2.2 Gain de traitement en portée des signaux brouilleurs

5.2.2.1 Impulsions brouilleuses de type à ondes entretenues

En prenant pour hypothèse que la fréquence centrale RF des impulsions brouilleuses de type à ondes entretenues est située dans la bande de fréquences de traitement, le gain de traitement des signaux brouilleurs rapporté au bruit varie en fonction, d'une part, de la largeur de l'impulsion à ondes entretenues rapportée à la largeur de l'impulsion modulée linéairement en fréquence et, d'autre part, du pourcentage de la zone de recouplement (voir la Fig. 2).

FIGURE 2



Dans l'hypothèse où la largeur de l'impulsion brouilleuse est inférieure à celle de l'impulsion «chirp» et est enveloppée par celle-ci ($\alpha = \beta$), le gain de traitement est représenté sous la forme d'une fonction de la largeur d'une fraction de l'impulsion (voir la Fig. 2).

5.2.2.2 Signaux brouilleurs de type à ondes entretenues

On suppose que la fréquence centrale RF du signal brouilleur de type à ondes entretenues est située dans la bande de fréquences de traitement. Lorsque le niveau du signal brouilleur est égal au niveau du bruit, le gain de traitement en ondes entretenues est de 2,3 dB. Pour chaque pixel de l'image, ce gain est le même que dans le cas d'une impulsion de type à ondes entretenues ayant la même largeur que l'impulsion «chirp» (rapport de largeur égal à l'unité).

5.2.2.3 Signaux brouilleurs modulés linéairement en fréquence

On suppose que le spectre brouilleur tombe dans la bande de fréquences de traitement et que l'impulsion brouilleuse recoupe le signal d'écho (voir la Fig. 1).

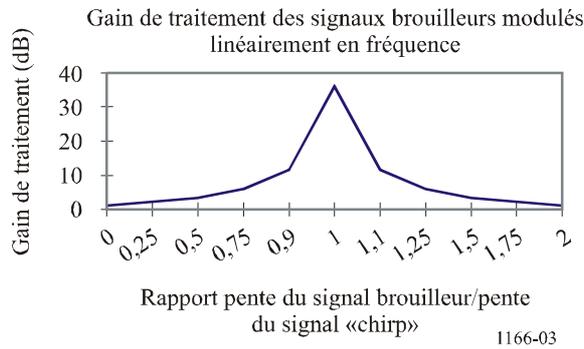
Supposons que le signal «chirp» $f(t)$ soit présenté comme suit:

$$f(t) = \text{rect}(t / T_1) e^{j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2} \quad (1)$$

où:

- $\text{rect}(t)$: fonction rectangulaire de largeur unitaire
- f_0 : fréquence porteuse RF
- μ : pente.

Le gain de traitement de l'impulsion brouilleuse varie en fonction du rapport de pente ($|\mu'/\mu|$) pour environ la même largeur d'impulsion (par exemple $\alpha = 1$) que dans la Fig. 3. La pente de l'impulsion brouilleuse est μ' et celle du signal «chirp» radar est μ .



5.2.2.4 Autres signaux brouilleurs/autres modulations

Les signaux émis par des radars terrestres brouilleurs sont très divers de même que les modulations (codes Barker, modulation de fréquence non linéaire, etc.). Pour chaque cas, des modélisations peuvent être faites et les gains de traitement par rapport au bruit peuvent être calculés. Ces modulations ne sont pas examinées dans le présent paragraphe. Toutefois, même si le gain de traitement en portée n'est pas examiné ici, le gain de traitement en azimut concerne ces impulsions.

5.2.3 Gain de traitement en azimut des impulsions brouilleuses

Le traitement en azimut d'un radar SAR se fait par sommation des signaux d'écho au fur et à mesure que le faisceau radar illumine la zone ciblée. Pour le bruit, le gain de traitement en azimut est N , pour l'intégration de N impulsions pendant une ouverture synthétique. Pour les impulsions brouilleuses, la mise en phase du signal brouilleur à l'intérieur de chaque fourchette de distance diffère d'un signal d'écho à un autre, étant donné que le radar terrestre et le radar SAR ont des FRI différentes. Pour l'impulsion brouilleuse, des analyses précédentes utilisant des simulations pour des fourchettes de distance successives et la sommation des signaux d'écho pendant un intervalle d'intégration du radar SAR ont montré que les puissances crête instantanées des impulsions brouilleuses traitées en azimut varient entre 0 dB et 9,5 dB.

5.2.4 Calcul du brouillage admissible

Les niveaux de brouillage admissible indiqués ci-dessus peuvent varier compte tenu de l'effet de limitation des brouillages lié à la discrimination de traitement du radar SAR et aux caractéristiques de modulation des systèmes de radiolocalisation/radionavigation exploités dans la bande. La puissance du signal brouilleur admissible P_I est la suivante:

$$P_I = I / N \cdot P_N \cdot \frac{G_{N_{AZ}}}{G_{I_{AZ}}} \cdot \frac{G_{N_{RNG}}}{G_{I_{RNG}}} \quad (2)$$

où:

- I/N : rapport brouillage/bruit à la sortie du processeur
- P_N : puissance de bruit à la borne de l'antenne
- G_{NAZ} : gain de traitement du bruit en azimut
- G_{IAZ} : gain de traitement du signal brouilleur en azimut
- G_{NRNG} : gain de traitement du bruit en portée
- G_{IRNG} : gain de traitement du signal brouilleur en portée.

Les gains de traitement sont les produits des gains de traitement en portée et des gains de traitement en azimut. Le gain de traitement en portée pour le brouillage est normalement faible, c'est-à-dire inférieur à 4 dB; toutefois, le gain de traitement en azimut pour le brouillage est normalement de 20 à 40 dB inférieur à celui pour le bruit. Par exemple, dans le cas d'un radar SAR large bande fonctionnant à 9,6 GHz et brouillé par un radar embarqué à bord d'un aéronef, le radar et le radar SAR utilisent des impulsions modulées linéairement en fréquence ayant des pentes très différentes. La pente de l'impulsion «chirp» du radar SAR est de 45-450 MHz/ μ s et celle de l'impulsion «chirp» du radar embarqué est de 0,5 MHz/ μ s. Le rapport pente de l'impulsion «chirp» brouilleuse et la pente de l'impulsion «chirp» du radar SAR $|\mu'/\mu|$ n'est que de 0,001 à 0,01 et d'après la Fig. 3 le gain de traitement en portée correspondant est d'environ 2,3 dB. Pour un rapport brouillage/bruit = -6 dB, $P_N = -83,7$ dBm, $G_{NAZ}/G_{IAZ} = 41,1$ dB, et $G_{NRNG}/G_{IRNG} = -2,3$ dB, P_I ne devrait pas dépasser -50,9 dBm. Le Tableau 5 montre le calcul des gains de traitement pour le bruit, le signal d'écho retour minimal utile (SNR = 0 dB) et pour le signal brouilleur dans le cas du radar SAR3 fonctionnant à 9,6 GHz et brouillé par le radar embarqué à bord de l'aéronef.

TABLEAU 5

Gains de traitement en portée et en azimut pour le bruit, le signal utile et pour le signal brouilleur dans le cas du radar SAR3 fonctionnant à 9,6 GHz

Type de signal	Puissance en entrée (dBm)	Gain de traitement en portée (dB)	Gain de traitement en azimut (dB)	Puissance en sortie (dBm)
Bruit	-83,7	0,0	41,1	-42,6
Signal minimal utile	-151,3	26,5	82,2	-42,6
Signal brouilleur acceptable maximal	-44,9	2,3	0,0 à 9,5	-42,6 à -34,8

5.2.5 Caractéristiques des signaux d'entrée/de sortie des radars SAR fonctionnant dans les bandes 432-438 MHz et 1 215-1 300 MHz

Le niveau du signal brouilleur maximal acceptable en sortie est égal au niveau du bruit du système ou au niveau du bruit de l'antenne de réception à la sortie. Le Tableau 6 donne les caractéristiques en entrée et en sortie du bruit, du signal minimal utile et du signal brouilleur maximal compte tenu du gain de traitement en portée et en azimut. Les niveaux sont indiqués pour la bande 432-438 MHz et pour la bande 1 215-1 300 MHz.

TABLEAU 6

**Caractéristiques des signaux d'entrée/de sortie des radars SAR fonctionnant
dans les bandes 432-438 MHz* et 1 215-1 300 MHz**

Type de signal	Puissance en entrée (dBm)	Gain de traitement en portée (dB)	Gain de traitement en azimuth (dB)	Puissance en sortie (dBm)
Bruit	-97,7 (-103,4)	0,0 (0,0)	30,6 (33,0)	-67,1 (-70,4)
Signal minimal utile	-156,5 (-164,2)	28,2 (27,8)	61,2 (66,0)	-67,1 (-70,4)
Signal brouilleur acceptable maximal ⁽¹⁾	-69,4 (-72,7)	2,3 (2,3)	0 à 9,5 (0 à 9,5)	-67,1 à -57,6 (-70,4 à -60,9)

* Les valeurs pour la bande 432-438 MHz sont indiquées entre parenthèses.

⁽¹⁾ S'applique à des impulsions brouilleuses non modulées en fréquence, pour des durées d'impulsion de 2 µs ou moins. Les niveaux ne varient que de ±0,6 dB pour d'autres durées d'impulsion.

5.2.6 Caractéristiques en entrée et en sortie des signaux des radars SAR exploités dans les bandes 3 100-3 300 MHz et 5 250-5 570 MHz

Le niveau maximal du signal brouilleur acceptable en sortie est égal au niveau du bruit du système ou au bruit de l'antenne de réception en sortie. Le Tableau 7 donne les caractéristiques en entrée et en sortie du bruit, du signal minimal utile, du signal brouilleur maximal compte tenu du gain de traitement en portée et en azimuth. Les niveaux sont indiqués pour les radars considérés. Pour la bande 5 250-5 350 MHz, on a utilisé les paramètres de l'antenne principale. Toutefois, dans une mission d'interférométrie topographique, on peut utiliser une impulsion d'une largeur de 66 µs pour augmenter l'énergie du signal et utiliser une antenne sur bras télescopique de 8 m seulement avec un amplificateur à faible bruit (AFB) monté sur chaque «bras» pour réduire le niveau du bruit.

Pour le cas nominal, le Tableau 7 indique à quel niveau un signal brouilleur en entrée est égal à la puissance de bruit aux bornes de sortie. A ces niveaux d'entrée, le récepteur dorsal ne serait pas saturé car la saturation n'intervient pas avant encore 18 dB. Le point de compression à 1 dB du récepteur frontal correspond à -22 dBm en entrée. La puissance maximale que peut traiter le récepteur en entrée est de +37 dBm. Par conséquent, le signal brouilleur acceptable maximal est encore très inférieur au signal nécessaire pour atteindre la saturation ou à la puissance maximale qu'il est possible de traiter.

TABLEAU 7

**Caractéristiques des signaux d'entrée/de sortie des radars SAR fonctionnant
dans les bandes 3 100-3 300 MHz* et 5 250-5 570 MHz**

Type de signal	Puissance en entrée (dBm)	Gain de traitement en portée (dB)	Gain de traitement en azimut (dB)	Puissance en sortie (dBm)
Bruit	-96,7 (-99,3)	0,0 (0,0)	24,2 (27,7)	-72,5 (-71,6)
Signal minimal utile	-149,1 (-156,0)	28,2 (29,0)	48,4 (55,4)	-72,5 (-71,6)
Signal brouilleur acceptable maximal ⁽¹⁾	-74,8 (-73,9)	2,3 (2,3)	0 à 9,5 (0 à 9,5)	-72,5 à -63,0 (-71,6 à -62,1)

* Les valeurs pour la bande 3 100-3 300 MHz sont indiquées entre parenthèses.

⁽¹⁾ S'applique à des impulsions brouilleuses non modulées en fréquence, pour des durées d'impulsion de 2 µs ou moins. Les niveaux ne varient que de ±0,6 dB pour d'autres durées d'impulsion.

5.2.7 Caractéristiques des signaux d'entrée/de sortie des radars SAR fonctionnant dans les bandes 8 550-8 650 MHz et 9 500-9 800 MHz

Le niveau maximal du signal brouilleur acceptable en sortie est égal au niveau du bruit du système ou au bruit de l'antenne de réception à la sortie. Le Tableau 8 donne les caractéristiques en entrée et en sortie du bruit, du signal minimal utile et du signal brouilleur maximal compte tenu du gain de traitement en portée et en azimut. Il montre qu'un signal brouilleur d'une valeur comprise entre -74,5 et -75,0 dBm en entrée est égal à la même puissance de bruit en sortie. A ce niveau d'entrée, le récepteur ne serait pas saturé car la saturation n'intervient pas avant que le signal en entrée n'atteigne moins 56 dBm pour un gain du récepteur de 60 dB. Le point de compression à 1 dB du récepteur frontal correspond à -22 dBm en entrée. La puissance maximale qu'il est possible de traiter à l'entrée du récepteur est de +37 dBm. Le signal brouilleur maximal acceptable compris entre -74,5 et -75,0 dBm est encore très inférieur au signal nécessaire pour atteindre la saturation ou à la puissance maximale qu'il est possible de traiter.

5.2.8 Critères de brouillage

La dégradation de la qualité de fonctionnement des radars à ouverture synthétique interférométriques imageurs ou topographiques est inacceptable lorsque les valeurs crête suivantes sont atteintes:

432-438 MHz	-109 dB(W/6 MHz)
1 215-1 300 MHz	-106 dB(W/20 MHz)
3 100-3 300 MHz	-110 dB(W/20 MHz)
5 250-5 570 MHz	-111 dB(W/20 MHz)
8 550-8 650 MHz	-111 dB(W/20 MHz)
9 500-9 800 MHz	-110 dB(W/20 MHz)

Ces critères s'appliquent à des impulsions brouilleuses non modulées en fréquence, pour des durées d'impulsion de 2 µs ou moins. Pour d'autres durées d'impulsion, ces critères ne varient que de ±0,6 dB.

TABLEAU 8

**Caractéristiques des signaux d'entrée/de sortie des radars SAR fonctionnant
dans les bandes 8 550-8 650 MHz* et 9 500-9 800 MHz**

Type de signal	Puissance en entrée (dBm)	Gain de traitement en portée (dB)	Gain de traitement en azimut (dB)	Puissance en sortie (dBm)
Bruit	-94,0 (-94,5)	0,0 (0,0)	21,8 (21,8)	-72,2 (-72,7)
Signal minimal utile	-145,3 (-145,8)	29,5 (29,5)	43,6 (43,6)	-72,2 (-72,7)
Signal brouilleur acceptable maximal ⁽¹⁾	-74,5 (-75,0)	2,3 (2,3)	0 à 9,5 (0 à 9,5)	-72,2 à -62,7 (-72,7 à -63,2)

* Les valeurs pour la bande 8 500-8 650 MHz sont indiquées entre parenthèses.

⁽¹⁾ S'applique à des impulsions brouilleuses non modulées en fréquence, pour des durées d'impulsion de 2 µs ou moins. Les niveaux ne varient que de ±0,6 dB pour d'autres durées d'impulsion.

5.2.9 Critère de disponibilité

Dans les bandes de fréquences utilisées en partage, le critère de disponibilité des données SAR doit dépasser 99% pour tous les emplacements géographiques qui ont été retenus comme sites ou pour une couverture mondiale dans le cas de la cartographie topographique.

6 Radars profileurs de nuages

Le présent paragraphe donne des informations concernant les critères de qualité de fonctionnement et de brouillage applicables aux capteurs spatiaux des radars profileurs de nuages exploités dans les bandes de fréquences 94,0-94,1 GHz, 133,5-134,0 GHz, et 237,9-238 GHz.

6.1 Critères de qualité de fonctionnement applicables aux radars profileurs de nuages fonctionnant à 94 GHz

La mission d'un radar spatial profileur de nuages est de mesurer le profil de réflectivité de tous les nuages situés dans le champ de vision, avec une réflectivité minimale de -30 dBZ.

6.2 Critères de brouillage applicables aux radars profileurs de nuages

La dégradation de Z_{min} due au brouillage devrait être inférieure à 10% dans 95% de la zone de service. Une dégradation de 10% de Z_{min} correspond à un rapport brouillage/bruit de -10 dB. Ce critère de brouillage correspond à une puissance brouilleuse de -155 dBW sur une largeur de bande de 300 kHz.

6.3 Critères de disponibilité applicables aux radars profileurs de nuages

Dans le cas de signaux brouilleurs aléatoires, la dégradation de Z_{min} due au brouillage devrait être inférieure à 10% dans 95% de la zone de service. Si le signal brouilleur n'est pas un signal aléatoire, la dégradation de Z_{min} devrait être inférieure à 10% dans 99% de la zone de service considérée.