

RECOMMANDATION UIT-R SA.1628*

Faisabilité du partage de la bande 35,5-36 GHz entre d'une part le service d'exploration de la Terre par satellite (active) et le service de recherche spatiale (active) et d'autre part d'autres services bénéficiant d'attribution dans cette bande

(Question UIT-R 233/7)

(2003)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande de fréquences 35,5-36 GHz est attribuée au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (active) et au service de recherche spatiale (active) à titre primaire, conformément au numéro 5.551A du Règlement des radiocommunications (RR);
- b) que la bande 35,5-36 GHz est, de plus, attribuée au service des auxiliaires de la météorologie et au service de radiolocalisation à titre primaire;
- c) que des études de l'UIT-R ont montré que le partage de la bande 35,5-36 GHz est possible entre radars terrestres et radars de mesure des précipitations, altimètres radar et diffusiomètres spatioportés, comme indiqué dans l'Annexe 1;
- d) que des études de l'UIT-R ont montré que les stations du service fixe bénéficiant d'attribution dans la bande 35,5-36 GHz conformément au numéro 5.549 du RR sont protégées vis-à-vis des émissions des radars de mesure des précipitations du SETS, comme indiqué dans l'Annexe 2;
- e) que les altimètres large bande ont besoin d'une largeur de bande pouvant aller jusqu'à 500 MHz pour effectuer des mesures précises de l'altitude,

recommande

- 1** que, pour assurer la compatibilité entre le service de radiolocalisation, le SETS (active) et le service de recherche spatiale (active), la puissance surfacique moyenne rayonnée à la surface de la Terre par un détecteur actif spatioporté à un angle de plus de $0,8^\circ$ par rapport à l'axe du faisceau ne dépasse pas la valeur de $-73,3 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque de 2 GHz;
- 2** que la compatibilité avec le service fixe soit assurée sans imposer de contraintes supplémentaires pour le SETS (active), comme indiqué dans l'Annexe 2.

* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention des Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications.

Annexe 1

Compatibilité entre les détecteurs actifs spatioportés et les systèmes de radiolocalisation fonctionnant dans la bande 35,5-36 GHz

1 Introduction

La bande de fréquences 35,5-36 GHz est attribuée aux SETS (active), de recherche spatiale (active), de radiolocalisation et des auxiliaires de la météorologie à titre primaire. Bien que cette bande soit attribuée au service des auxiliaires de la météorologie, il n'y en a aucune utilisation avérée par ce service.

Des études de l'UIT-R ont montré que le partage entre les détecteurs actifs spatioportés et les systèmes de radiolocalisation dans la bande 35,5-36 GHz est possible. La présente Recommandation expose les résultats des simulations qui ont permis d'évaluer les niveaux de brouillage potentiel entre détecteurs actifs spatioportés et stations de radiolocalisation dans la bande 35,5-36 GHz.

2 Approche

2.1 Aperçu général

On a mis au point un modèle dynamique de brouillage en utilisant un outil commercial de simulation des brouillages. Des statistiques ont été recueillies concernant les brouillages causés par les détecteurs actifs spatioportés aux systèmes de radiolocalisation et inversement.

2.2 Modèles de détecteur actif spatioporté

Le Tableau 1 énumère les paramètres des détecteurs actifs spatioportés pris en considération dans les simulations. Au nombre de ces détecteurs figurent les altimètres et les radars de mesure des précipitations que l'on envisage de mettre en œuvre dans des constellations de trois à neuf satellites.

Pour les besoins de ces simulations, on a pris en hypothèse une configuration delta Walker pour chaque constellation de détecteurs actifs, présentant les paramètres énumérés dans le Tableau 1.

En l'absence de diagrammes spécifiques des lobes latéraux d'antenne pour les détecteurs actifs, on a pour chaque détecteur modélisé le faisceau d'antenne comme un faisceau créé par une antenne parabolique avec un gain maximum et une ouverture de faisceau à 3 dB spécifiés dans le Tableau 1. Les diagrammes des lobes latéraux d'antenne ont été modélisés à l'aide d'une fonction de Bessel bornée qui simulait une enveloppe des crêtes des lobes latéraux d'antenne calculées pour un modèle standard d'ouverture circulaire selon la formule suivante:

$$G(\theta) = \eta \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \left[\frac{2J_1 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \right)}{\left(\frac{\pi D}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \right)} \right]^2$$

Le gain plancher a été fixé à -10 dBi pour chaque diagramme d'antenne.

TABLEAU 1

Caractéristiques des modèles de détecteurs actifs spatioportés

Type de détecteur	Altimètre		Radar de mesure des précipitations				
Nom du système	O-AltiKa	O + P-AltiKa	TRMM follow-on/GPM PR-2				O + P-AltiKa
Altitude (km)	800	650	400		750		650
Inclinaison	98,6	98,0	70,0		70,0		98,0
Nombre de satellites	3	8	9		9		8
Nombre de plans	3	4	3	3	3	3	4
Satellites par plan	1	2	3	3	3	3	2
Longitude Delta	120	90	120	120	120	120	90
Mise en phase entre plans	120	45	36	36	36	36	45
Pointage de l'antenne	Nadir	Nadir	$\pm 37^\circ$ scrutation en azimut à 250°/s	Nadir	$\pm 28^\circ$ scrutation en azimut à 250°/s	Nadir	Nadir
Gain de crête (dBi)	48,90	54,30	55,00	55,00	57,00	57,00	54,30
Ouverture du faisceau à 3 dB (degrés)	0,78	0,42	0,50	0,50	0,50	0,50	0,42
Largeur de bande (MHz)	480,00	480,00	5,30	5,30	5,30	5,30	4,40
Puissance crête (W)	2,0	2,0	200,0	200,0	200,0	200,0	2,0
Facteur d'utilisation (%)	42,2	42,2	10,9	20,0	10,9	20,0	27,0
Puissance moyenne (dBW)	-0,73	-0,73	13,39	16,02	13,39	16,02	-2,68

2.3 Modèles de systèmes de radiolocalisation

Dans la présente analyse, on a modélisé deux types de radars radiométriques d'imageurs, deux types de radars (métriques) de mesure et un type d'autodirecteur. Les caractéristiques de ces systèmes modélisés sont données dans le Tableau 2.

Faute de diagramme d'antenne de référence pour les stations de radiolocalisation exploitées dans cette bande, on a utilisé pour les stations de radiolocalisation la même fonction de Bessel bornée et le gain plancher de -10 dBi que l'on avait utilisé pour les détecteurs actifs spatioportés. Dans les cas où le faisceau d'antenne était elliptique (par exemple systèmes imageurs) la fonction de Bessel a été rendue elliptique pour obtenir les ouvertures de faisceau souhaitées par rapport à l'axe principal du faisceau.

TABLEAU 2

Caractéristiques des systèmes de radiolocalisation fonctionnant dans la bande 35,5-36 GHz

Paramètre	Type de système de radiolocalisation				
	Imageur 1	Imageur 2	Mesure 1	Mesure 2	Auto-directeur (Seeker)
Type de détecteur	Passive	Active	Active	Active	Active
Modulation	–	Impulsion	Impulsion	Impulsion	Modulation de fréquence linéaire
Rapport de compression	–	–	–	–	200
Largeur de l'impulsion (μ s)		0,05	0,25	0,05	10
Puissance de crête de l'émetteur (kW)	–	0,5	135	1	0,001
Fréquence de répétition d'impulsions (kHz)	–	30	1	50	10
Largeur de bande RF	–	80	10	101	12
Gain d'antenne	35 dBi	30	52	51	28,7
Ouverture de faisceau (degrés)	$0,5 \times 3,0$	$0,75 \times 10$	$0,25 \times 0,25$	$0,5 \times 0,5$	$4,4 \times 4,4$
Largeur de bande FI du récepteur (MHz)	2 GHz	40	6	185	100
Température de bruit (K)	850	–	–	–	–
Facteur de bruit (dB)	–	4,5	10	10	5
Sensibilité du récepteur (dBm)	–	–81	–95	–78	–93
Syntonisation	Fixe	Fixe	Fixe	Saut de fréquence	Fixe

2.4 Modèle de brouillage

On a mis au point un modèle de simulation pour calculer la fonction de distribution cumulative (CDF) des niveaux de puissance brouilleuse produite par des détecteurs actifs spatioportés brouillant des stations de radiolocalisation au sol ainsi que les niveaux de puissance brouilleuse produite par des stations de radiolocalisation au sol brouillant des détecteurs actifs spatioportés.

On a aussi recueilli des statistiques de brouillage pendant chaque simulation notamment la puissance brouilleuse pour le cas le plus défavorable, le pourcentage de temps pendant lequel la puissance brouilleuse dépasse le critère de brouillage spécifié et la durée du plus long événement de brouillage dépassant le critère de brouillage spécifié.

Le niveau de puissance brouilleuse I (dBW) a été calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$I = 10 \log P_t + 10 \log(\eta) + G_t - (32,44 + 20 \log(f \cdot R)) + G_r + OTR - L_{atm}$$

où:

- P_t : puissance de l'émetteur brouilleur (W)
- η : facteur de forme du système brouilleur (c'est-à-dire durée des impulsions \times fréquence de répétition des impulsions)
- G_t : gain d'antenne du système brouilleur en direction de la station brouillée (dBi)
- f : fréquence de réception de la station brouillée (MHz)
- R : distance oblique entre la station brouilleuse et la station brouillée (km)
- G_r : gain d'antenne de la station brouillée en direction de la station brouilleuse (dBi)
- OTR : rejet à la fréquence d'accord (*on-tune rejection*) du récepteur (dB) = $10 \log(B_r/B_t)$ pour $B_r < B_t$, sinon 0, où B_t est la largeur de bande de l'émetteur et B_r est la largeur de bande du récepteur
- L_{atm} : l'affaiblissement par absorption atmosphérique (dB).

On a utilisé pour le rejet à la fréquence d'accord une valeur de 0 dB dans toutes les simulations dont il est fait état dans la présente Recommandation. L'affaiblissement par absorption atmosphérique (air sec et vapeur d'eau), L_{atm} , dépend de la longueur du trajet jusqu'au satellite à travers l'atmosphère terrestre et donc de l'angle d'élévation du satellite vu depuis le radar terrestre. Le programme de simulation a permis de calculer la valeur de cet affaiblissement par absorption atmosphérique sur la base de la Recommandation UIT-R P.676. Tous les calculs ont été effectués pour un fonctionnement cocanal à 35,75 GHz.

3 Analyse du brouillage

La présente section donne les résultats de simulations dynamiques de brouillage entre les détecteurs spatioportés décrits dans le Tableau 1 et les stations de radiolocalisation décrites dans le Tableau 2 en termes de CDF présentées ci-après.

3.1 Brouillage causé par des détecteurs actifs spatioportés à des stations de radiolocalisation

Le Tableau 1 donne la liste de sept détecteurs actifs possibles qui seraient déployés dans des constellations de trois à neuf satellites. Pour chaque constellation de ce type on a calculé une CDF du niveau de la puissance brouilleuse reçue au niveau de chaque type de station de radiolocalisation, dans l'hypothèse où la station de radiolocalisation est située à 65° de latitude. On a supposé que l'antenne du radar imageur pointait à un angle d'élévation de 0° et que celle du radar de mesure ou de l'autodirecteur pointait à un angle d'élévation de 45°. Les simulations ont été faites pour des antennes de stations de radiolocalisation pointées à un angle d'azimut de 180° par rapport au nord vrai (c'est-à-dire pointant vers le sud). Le programme de simulation a permis de calculer les niveaux de brouillage à intervalles de 0,5 s sur une période de 30 jours. Les niveaux de brouillage calculés pour chaque incrément de temps ont été classés par tranche de 1 dB et ces valeurs seront utilisées pour tracer chaque courbe de CDF. Ces différentes courbes sont représentées dans les Fig. 1 à 10.

FIGURE 1

CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des radars de mesure des précipitations GPM à un radar de type Imageur 1 pointant vers le sud

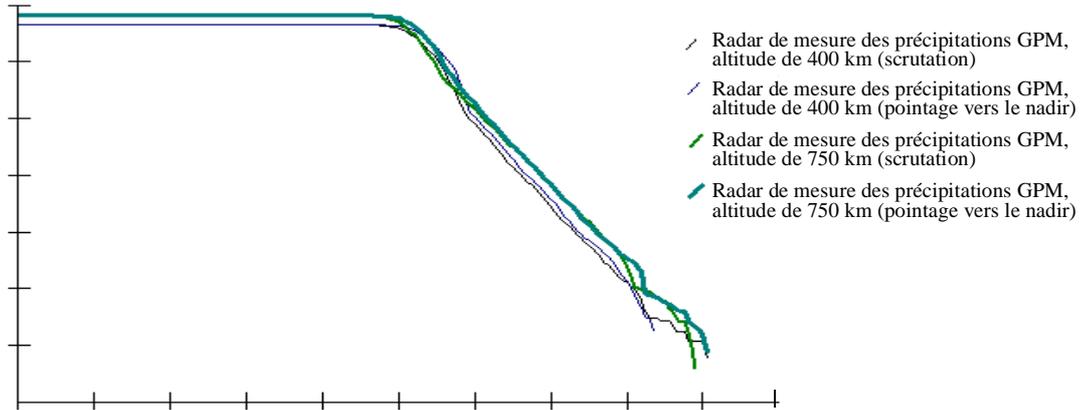


FIGURA 2

CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des altimètres AltiKa ou un radar de mesures des précipitations à un radar de type Imageur 1 pointant vers le sud

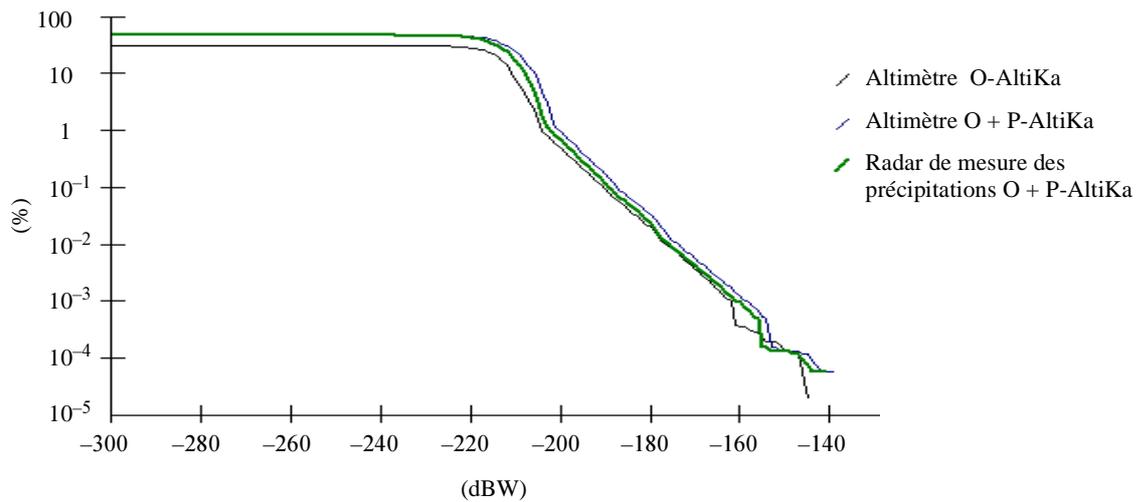
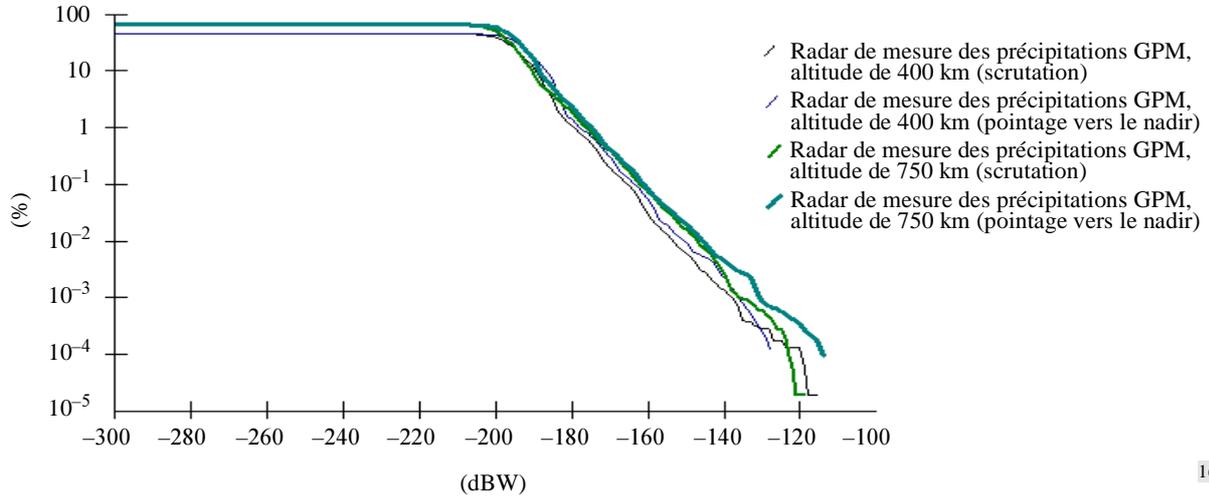


FIGURE 3

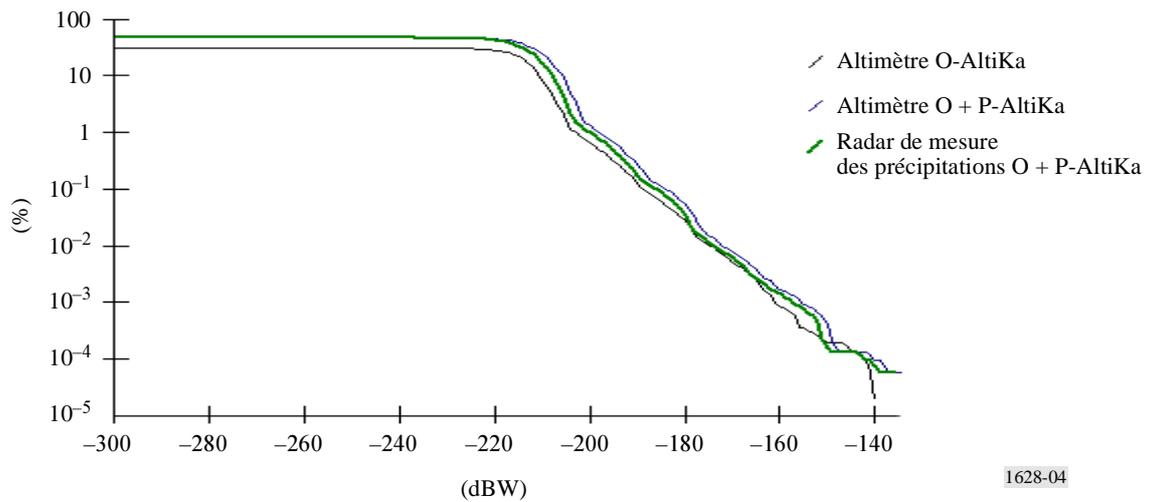
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des radars de mesure des précipitations GPM à un radar de type Imageur 2 pointant vers le sud



1628-03

FIGURE 4

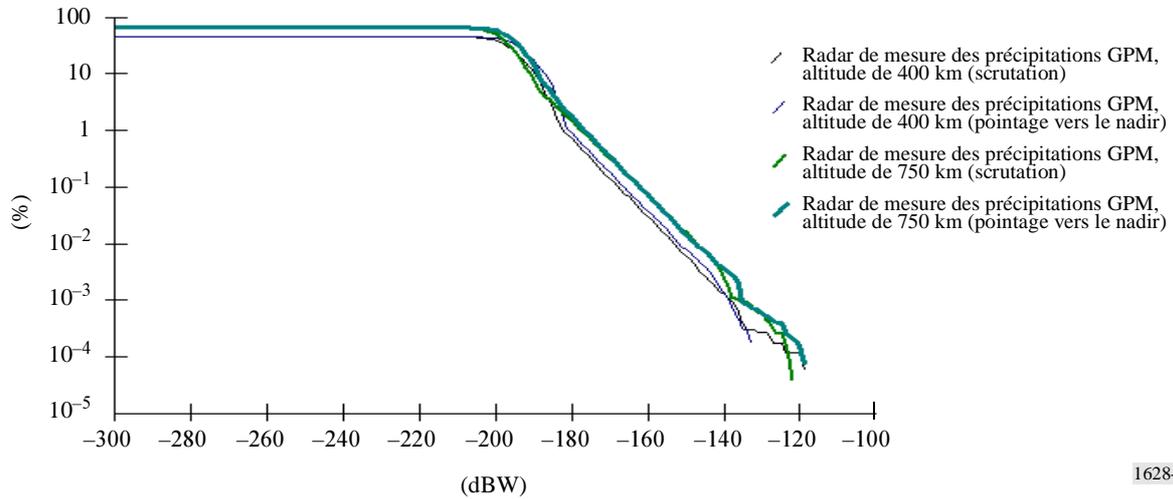
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des altimètres ou un radar de mesure des précipitations AltiKa à un radar de type Imageur 2 pointant vers le sud



1628-04

FIGURE 5

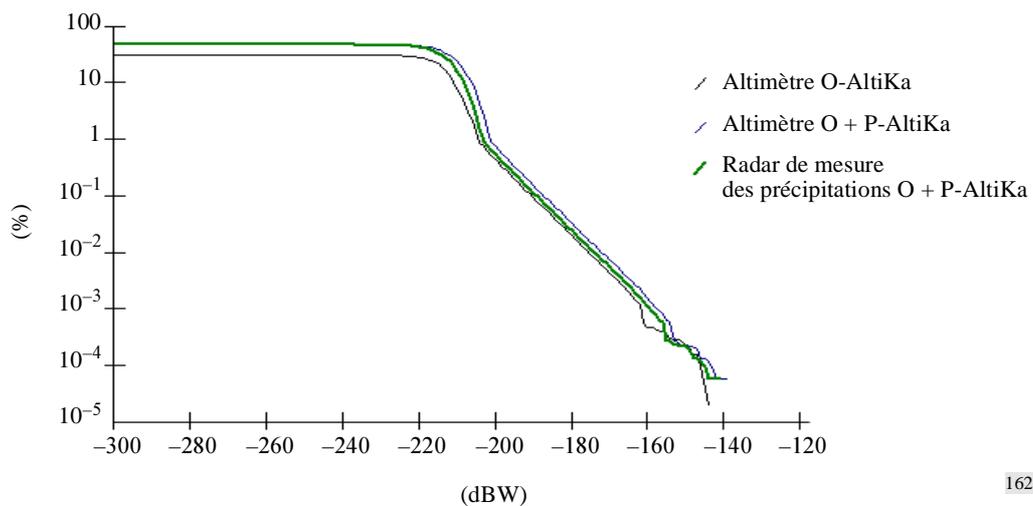
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des radars de mesure des précipitations GPM à un radar de type Mesure 1 pointant vers le sud



1628-05

FIGURE 6

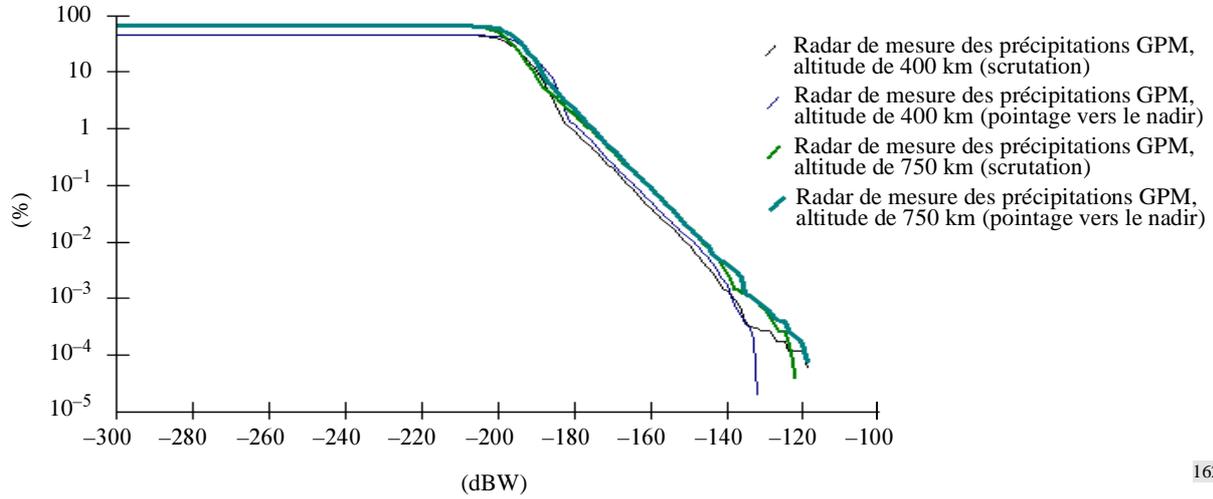
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des altimètres ou un radar de mesure des précipitations AltiKa à un radar de type Mesure 1 pointant vers le sud



1628-06

FIGURE 7

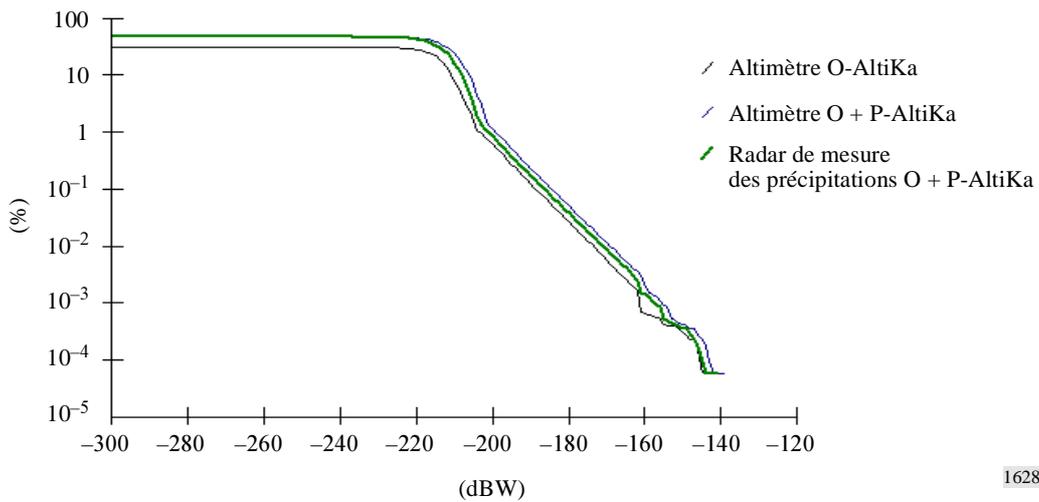
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des radars de mesure des précipitations GPM à un radar de type Mesure 2 pointant vers le sud



1628-07

FIGURE 8

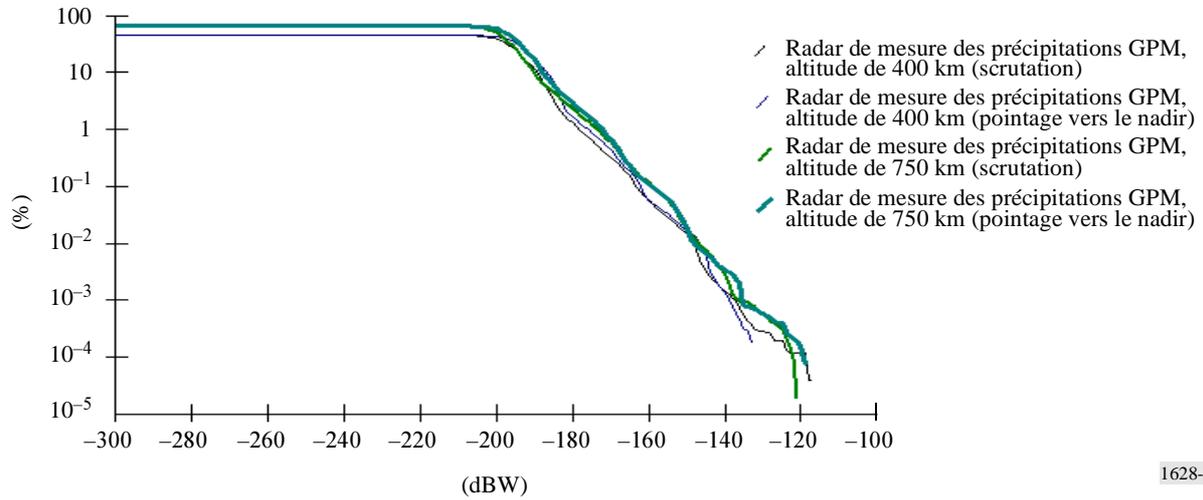
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des altimètres ou un radar de mesure des précipitations AltiKa à un radar de type Mesure 2 pointant vers le sud



1628-08

FIGURE 9

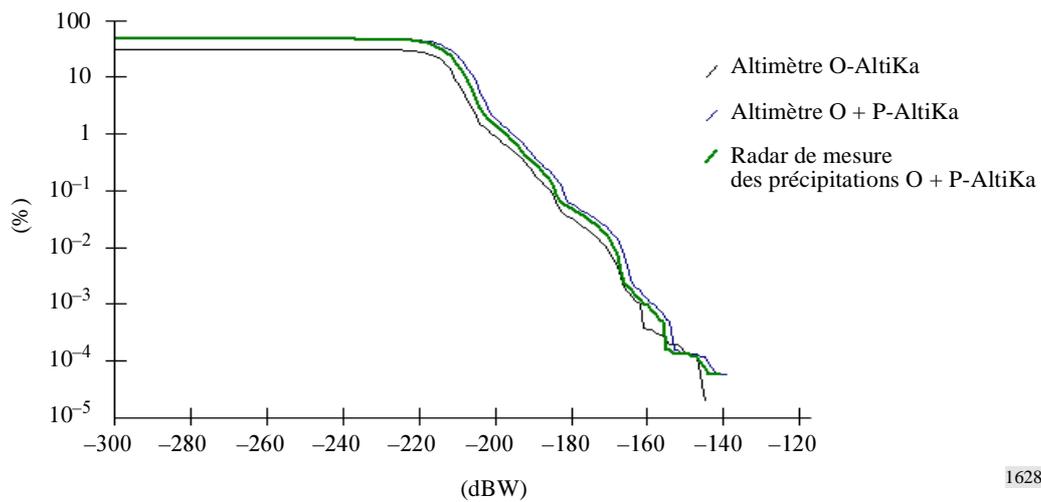
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des radars de mesure des précipitations GPM à un autodirecteur pointant vers le sud



1628-09

FIGURE 10

CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par des altimètres AltiKa ou un radar de mesure des précipitations à un autodirecteur pointant vers le sud



1628-10

Le Tableau 3 donne la liste des valeurs de la puissance crête brouilleuse relevée pendant chacune des simulations de 30 jours. Ce Tableau donne également le critère de brouillage à court terme pour les divers systèmes de radiolocalisation pris en considération dans la présente analyse. Le temps de dépassement de ce critère de brouillage doit être inférieur à 3 s. Il ressort du Tableau 3 qu'en règle générale les niveaux de puissance brouilleuse crête dépassent le niveau seuil de brouillage. Il est donc nécessaire d'examiner la durée pendant laquelle ces seuils de brouillage sont dépassés.

TABLEAU 3

Puissance brouilleuse pour le cas le plus défavorable (dBW)

Description du détecteur actif spatioporté	Système de radiolocalisation				
	Imageur 1	Imageur 2	Mesure 1	Mesure 2	Auto-directeur (Seeker)
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode scrutation	-118,1	-114,8	-118,1	-118,1	-116,5
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode pointage vers le nadir	-132,3	-127,2	-132,3	-131,1	-132,3
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode scrutation	-121,2	-118,8	-121,2	-121,2	-120,2
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode pointage vers le nadir	-118,2	-113,2	-118,2	-118,2	-118,2
Altimètre O-AltiKa	-144,5	-139,6	-143,4	-144,2	-144,5
Altimètre O + P-AltiKa	-138,3	-133,3	-138,3	-138,3	-138,3
Radar de mesure des précipitations O + P-AltiKa	-140,2	-135,2	-140,2	-140,2	-140,2
Critère de brouillage (< 3 s)	-137,8	-137,8	-126,2	-126,2	-126,2

Le Tableau 4 donne des statistiques de simulation relatives au pourcentage de temps pendant lequel le seuil de brouillage à court terme particulier pour le système de radiolocalisation est dépassé et à la durée la plus longue d'un événement de brouillage qui a dépassé le critère de brouillage. Il convient de noter que l'incrément de temps utilisé dans les simulations était de 0,5 s et que le nombre total d'incrément de temps retenu dans les simulations était de 5 184 000 (30 jours).

TABLEAU 4

**Statistiques concernant les événements de brouillage pendant la simulation
qui dépassent le critère de brouillage^{(1), (2)}**

Description du détecteur actif spatioporté	Système de radiolocalisation				
	Imageur 1	Imageur 2	Mesure 1	Mesure 2	Auto-directeur (seeker)
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode scrutation	0,0009%/0,5	0,001%/0,5	0,0002%/0,5	0,0002%/0,5	0,0002%/0,5
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode pointage vers le nadir	0,0007%/2	0,0014%/2,5	–	–	–
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode scrutation	0,001%/0,5	0,0013%/0,5	0,0003%/0,5	0,0003%/0,5	0,0004%/0,5
Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode pointage vers le nadir	0,0027%/4	0,0035%/4,5	0,0004%/1,5	0,0004%/1,5	0,0004%/1,5
Altimètre O-AltiKa	–	–	–	–	–
Altimètre O + P-AltiKa	–	0,0001%/1	–	–	–
Radar de mesure des précipitations O + P-AltiKa	–	0,0001%/1	–	–	–

- (1) Le premier chiffre correspond au pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de brouillage a été dépassé. Le deuxième chiffre correspond à la durée du plus long événement de brouillage (s). Le tiret indique que le critère de brouillage a été respecté pour tous les incréments de temps au cours de la simulation.
- (2) L'incrément de temps retenu pour la simulation a été fixé à 0,5 s. La durée de l'événement de brouillage pour le cas le plus défavorable (s), est égale à 0,5 fois le nombre d'incrément de temps pendant cet événement.

Il ressort du Tableau 4 que dans la plupart des cas, la durée de l'événement de brouillage pour le cas le plus défavorable était de moins de 3 s. Un seul détecteur actif spatioporté a produit des niveaux de brouillage dépassant le seuil de brouillage pendant plus longtemps que le critère de dépassement de moins de 3 s pour les radars imageurs et de moins de 5 s pour les radars de mesure et les radars de recherche. Il s'agissait de la constellation de neuf satellites GPM à une altitude de 750 km, avec des antennes pointant vers le nadir, la durée de l'événement de brouillage correspondant au cas le plus défavorable étant de 4 ou de 4,5 s selon le radar imageur brouillé. Pour ce système GPM à 750 km d'altitude, on a examiné de manière plus approfondie l'événement de brouillage pour le cas le plus défavorable en recueillant des données détaillées relatives à la puissance de brouillage en fonction du temps pendant un passage direct à la verticale.

La Fig. 11 donne une courbe de la puissance brouilleuse reçue au niveau de chacun des cinq types de stations de radiolocalisation pendant un passage à la verticale du détecteur GPM pointant vers le nadir, à 750 km d'altitude. La Fig. 12 donne une courbe de plus courte durée (pour une meilleure

résolution) de la puissance brouilleuse reçue pendant la partie de ce passage à la verticale où le niveau de brouillage le plus élevé est observé. La Fig. 13 donne une courbe de la puissance brouilleuse reçue au niveau des divers types de stations de radiolocalisation pendant un passage à la verticale d'un détecteur GPM en mode scrutation, à 750 km d'altitude. La Fig. 14 donne une courbe de plus courte durée de la puissance brouilleuse reçue pendant la partie du passage à la verticale où le satellite est directement au-dessus des stations de radiolocalisation. La Fig. 15 donne une autre courbe de durée plus courte de la puissance brouilleuse reçue pendant la partie du passage à la verticale où le détecteur est le plus proche du faisceau principal des stations de radiolocalisation. Il convient de noter qu'en mode scrutation, la résolution offerte par l'incrément de temps retenu pour la simulation et associée à la vitesse de scrutation de l'antenne du détecteur pendant la simulation du passage à la verticale d'un satellite était insuffisante pour rendre compte de la puissance brouilleuse de crête observée pendant les simulations de plusieurs satellites sur 30 jours.

FIGURE 11
Niveau de brouillage reçu pendant le passage à la verticale d'un détecteur GPM pointant vers le nadir (750 km d'altitude)

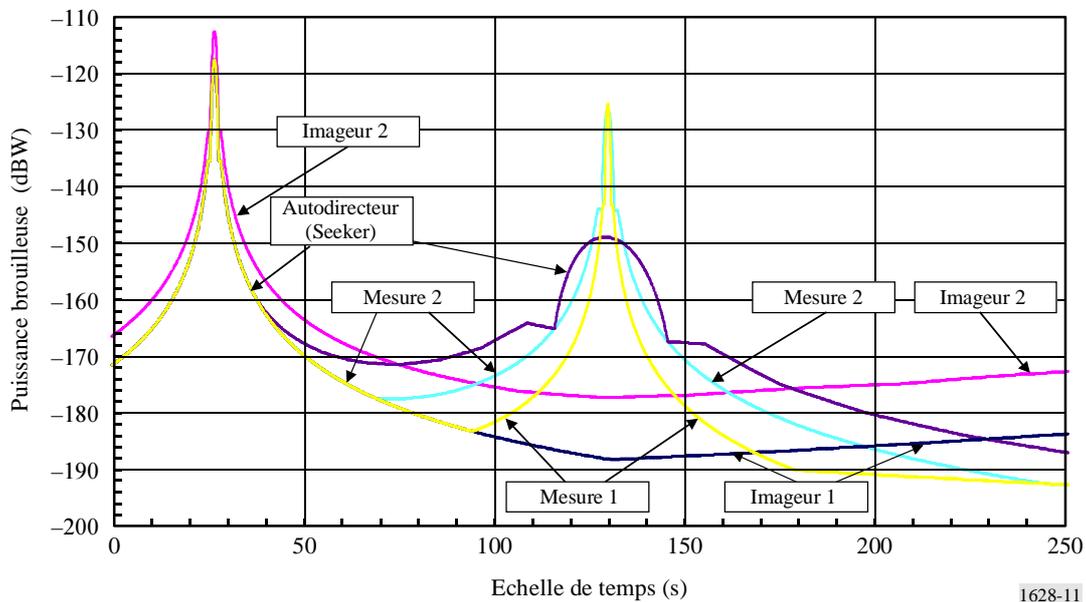


FIGURE 12
Niveau de brouillage reçu pendant le passage à la verticale d'un détecteur GPM pointant vers le nadir (750 km d'altitude)

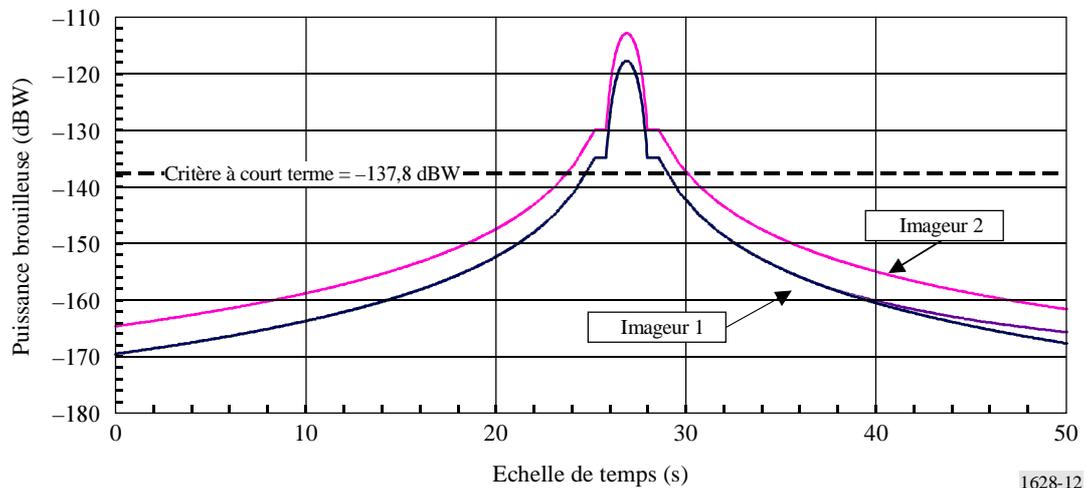
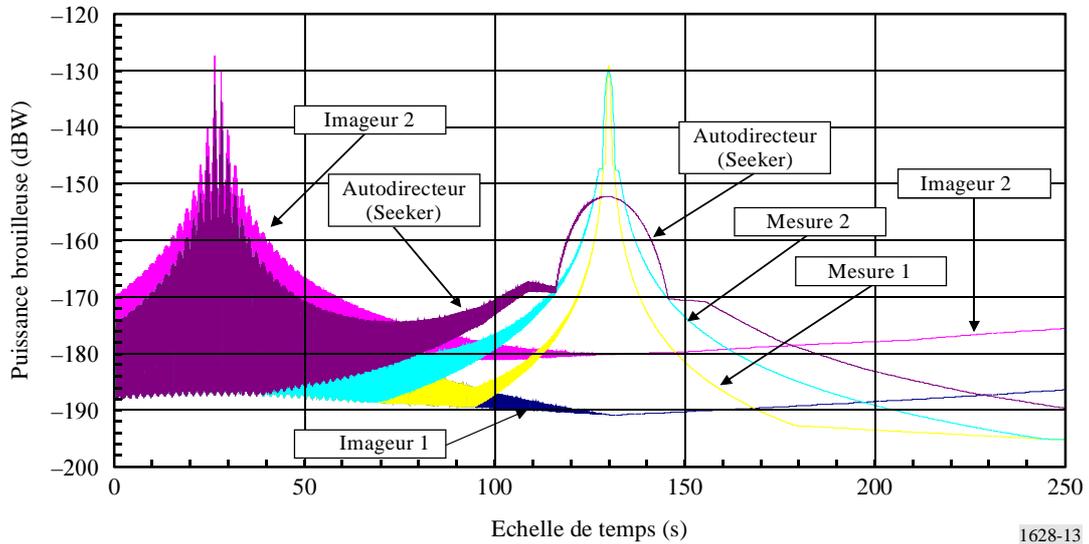


FIGURE 13

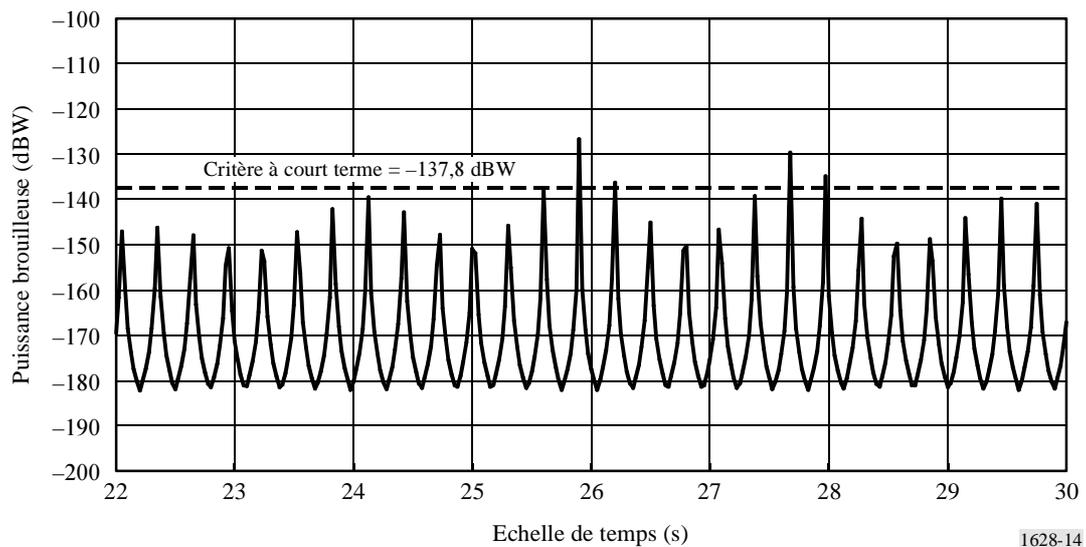
Niveau de brouillage reçu pendant le passage à la verticale d'un détecteur GPM en mode scrutation (750 km d'altitude)



1628-13

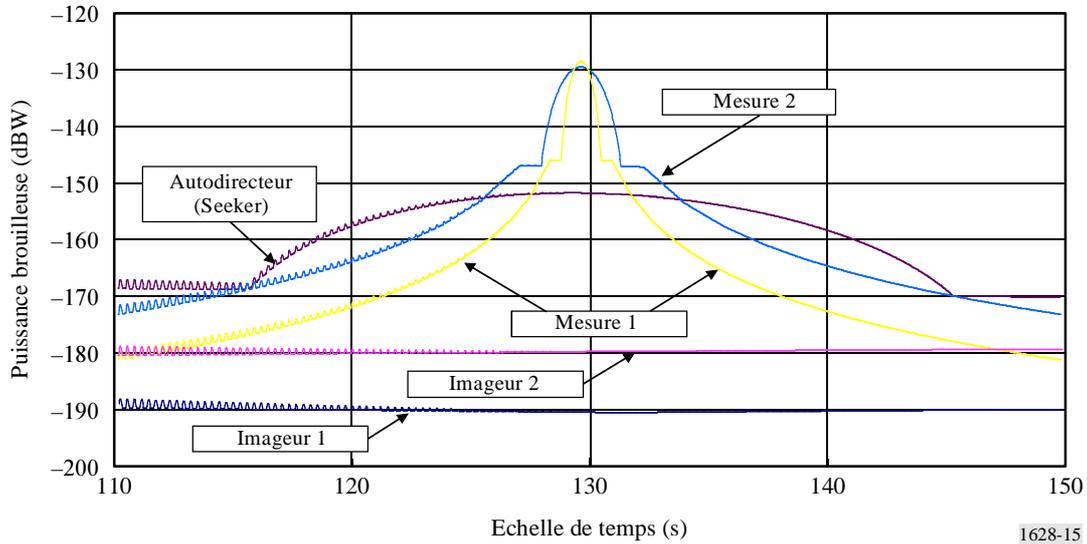
FIGURE 14

Niveau de brouillage reçu au niveau d'un radar de type Imageur 2 pendant le passage à la verticale d'un détecteur GPM en mode scrutation (750 km d'altitude)



1628-14

FIGURE 15
 Brouillage reçu pendant le passage à la verticale d'un détecteur GPM
 en mode scrutation (750 km d'altitude)



Cette durée de brouillage pourrait être plus importante si l'on prévoyait d'exploiter de futurs instruments du SETS/service de recherche spatiale (active) avec des niveaux de puissance plus élevés à l'émission. Il est donc recommandé de limiter le niveau de puissance surfacique produit par les systèmes spatioportés (active) selon la méthode suivante:

Pour protéger les stations du service de radiolocalisation, la puissance reçue ne devrait pas dépasser les valeurs suivantes:

TABLEAU 5
 Seuils de brouillage applicables au service de radiolocalisation

Type de radar	Signal brouilleur autorisé		Durée maximale (s)	
	Court terme	Long terme	Court terme	Long terme
Radiométrique/imageur	-137,8 dB(W/2 GHz)	-144,8 dB(W/2 GHz)	3	60
Mesure/autodirecteur	-126,2 dB(W/6 MHz)	-136,1 dB(W/6 MHz)	5	60

Les études montrent que la valeur la plus contraignante est la limite à court terme. L'équation ci-après donne la valeur de puissance surfacique (dBW/m²/b_{ref}) correspondant aux niveaux de puissance reçue à court terme donnés dans le Tableau 5:

$$pfd = P_r - G_r - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + L$$

où

P_r : limite de puissance reçue (dBW)

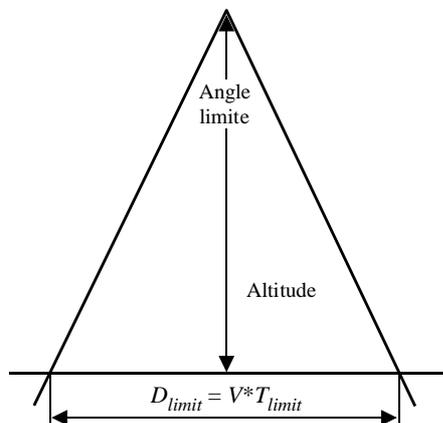
G_r : gain de l'antenne de la station de radiolocalisation dans la direction du satellite du SETS (dBi)

λ : longueur d'onde (m)

L : affaiblissement d'alimentation des instruments du SETS (2 dB).

La Fig. 16 illustre la configuration géométrique pendant un passage à la verticale du satellite du SETS/service de recherche spatiale au-dessus de la station de radiolocalisation.

FIGURE 16
Passage à la verticale du satellite du SETS



1628-16

Une limite de temps, T_{limite} , de 3 s pour une altitude du satellite de 750 km conduit à une distance de 21 km et à un angle limite de $1,6^\circ$.

Lorsque le détecteur du SETS est au zénith de la station de radiolocalisation, le gain d'antenne de cette station est égal à -10 dBi pour des angles d'élévation de pointage de moins de 70° . Les niveaux de puissance surfacique correspondant au critère de protection à court terme donné dans le Tableau 5 et à cette valeur de gain d'antenne sont:

$-126,2 - (-10) - (-52,5) + 2 = -61,7$ dB(W/m²) dans une bande de 6 MHz (pour la protection des radars de mesure/autodirecteurs);

$-137,8 - (-10) - (-52,5) + 2 = -73,3$ dB(W/m²) dans une bande de 2 GHz (pour la protection des radars imageurs).

Par conséquent, le niveau de puissance surfacique produit à la surface de la Terre par le détecteur spatioporté pour des angles décalés de plus de $0,8^\circ$ par rapport au lobe principal ne devrait pas dépasser les valeurs de $-61,7$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 6 MHz et de $-73,3$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 2 GHz.

Il convient de noter que la deuxième limite est plus stricte que la première.

3.2 Brouillage causé par des stations de radiolocalisation à des détecteurs actifs spatioportés

On a mis au point un modèle de simulation pour calculer la CDF des niveaux de puissance brouilleuse causée par un ensemble de stations de radiolocalisation au sol à chacun des types de détecteur actif spatioporté énumérés dans le Tableau 1. Six cent vingt-deux sites de stations de radiolocalisation ont été uniformément répartis (espacement de 500 km) sur les grandes masses terrestres du monde (voir la Fig. 17). Une station de radiolocalisation de type Imageur 2 et une de type Mesure 1 – celles qui ont la puissance la plus élevée pour ces types de radar – ont été implantées sur chacun des sites. On a supposé que les stations actives de type Imageur 2 pointaient à un angle d'élévation de 0° et que celles de type Mesure 1 pointaient à un angle de 45° . Les azimuts de pointage de l'antenne des radars ont été répartis de façon aléatoire entre 0° et 360° .

A chaque étape de la simulation, le modèle a permis de calculer la puissance cumulative produite par l'ensemble des radars visibles à la sortie de l'antenne du détecteur. Dans ces calculs, on a supposé que tous les radars émettaient à la même fréquence et que les niveaux de puissance étaient calculés dans la largeur de bande du signal radar. Une période d'à peu près 30 jours a été simulée à intervalles d'une seconde pour un total de 2 592 000 incréments de temps.

Les CDF de la puissance brouilleuse causée par ces radars actifs à chacun des sept types de détecteurs spatioportés sont présentées dans les Fig. 18 à 21. Les Tableaux 6 et 7 donnent respectivement la puissance brouilleuse crête cumulative causée par les systèmes de radiolocalisation aux détecteurs actifs spatioportés et les statistiques relatives aux événements de brouillage pendant lesquels le critère de brouillage a été dépassé.

FIGURE 17

Grille de stations de radiolocalisation utilisée dans le modèle de simulation

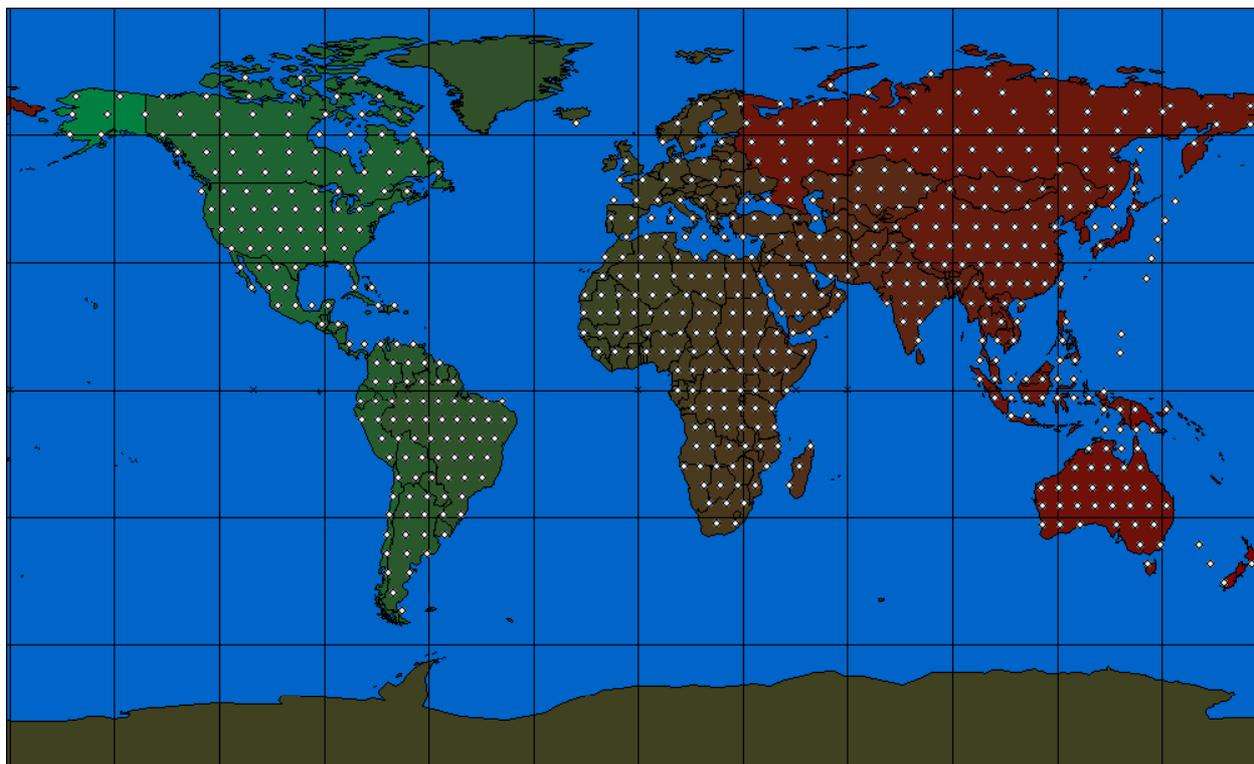
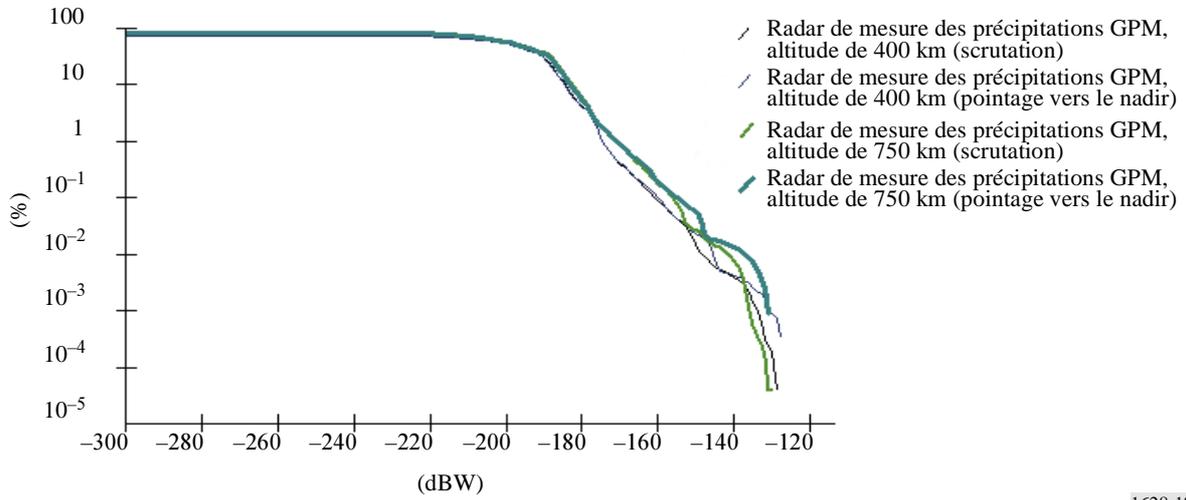
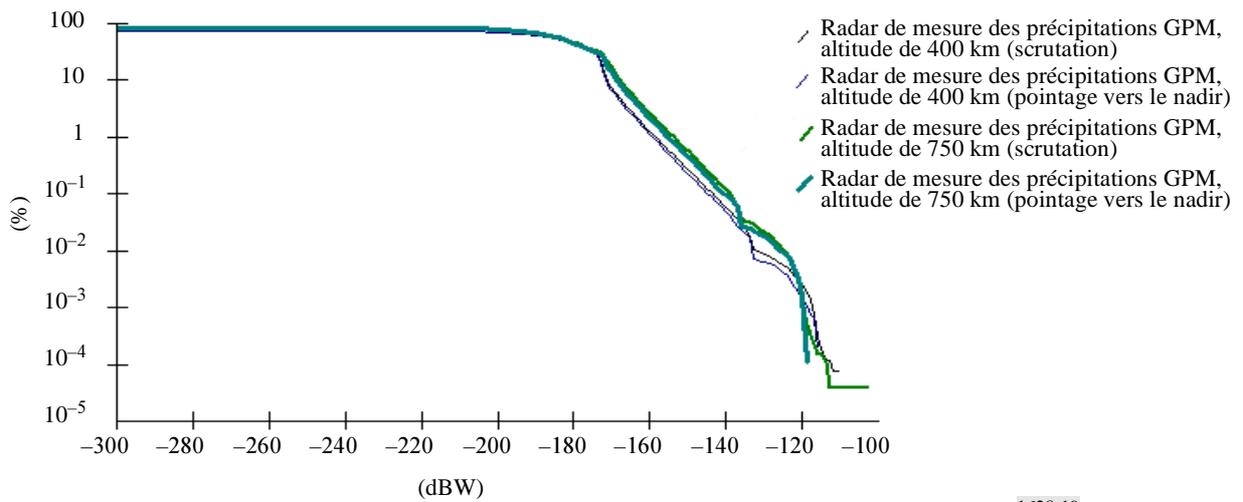


FIGURE 18
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par un système de radiolocalisation de type Imageur 2 à des détecteurs GPM



1628-18

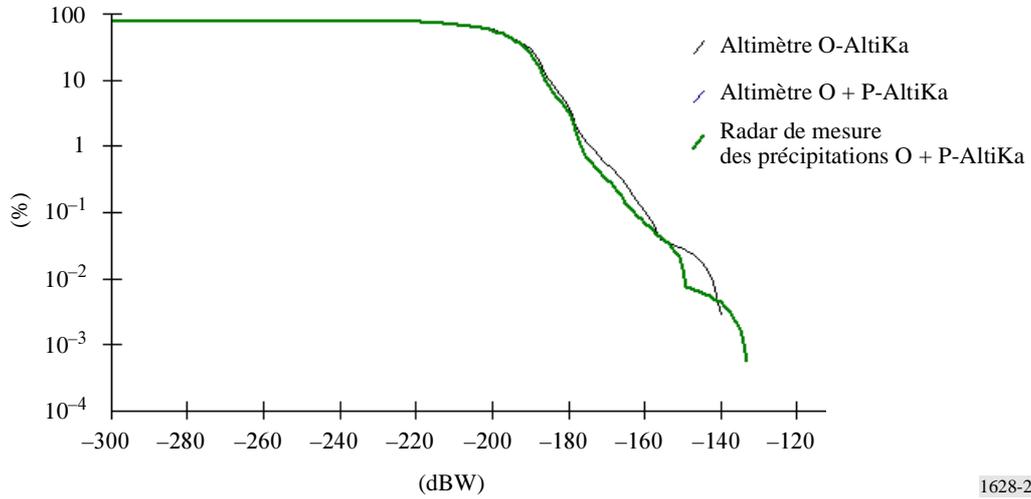
FIGURE 19
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par un système de radiolocalisation de type Mesure 1 à des détecteurs GPM



1628-19

FIGURE 20

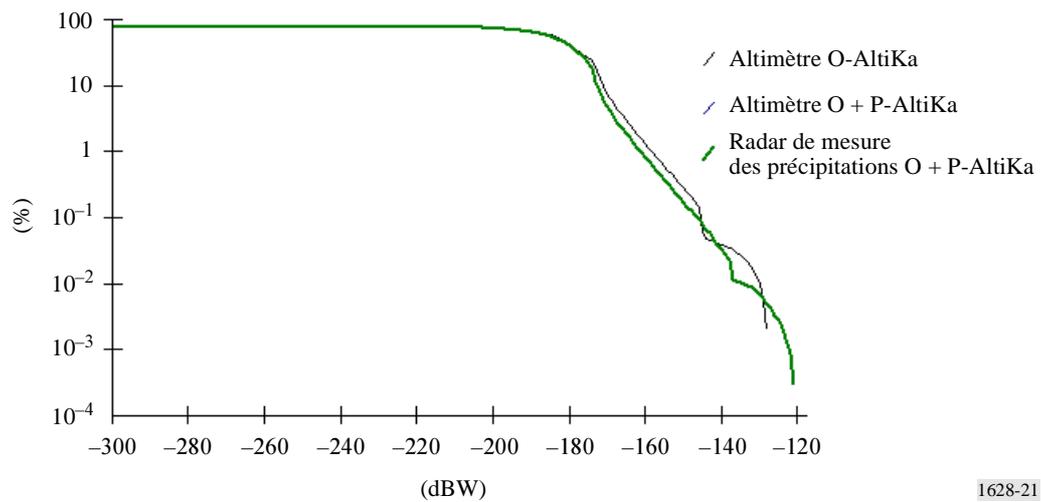
CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par un système de radiolocalisation de type Imageur 2 à des détecteurs AltiKa



1628-20

FIGURE 21

CDF du brouillage dans le cas d'un brouillage causé par un système de radiolocalisation de type Mesure 1 à des détecteurs AltiKa



1628-21

TABLEAU 6

Puissance brouilleuse cumulative pour le cas le plus défavorable (dBW)

Système de radiolocalisation	Description des détecteurs actifs spatioportés						
	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode scrutation	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode pointage vers le nadir	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode scrutation	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode pointage vers le nadir	Altimètre O-AltiKa	Altimètre O + P-AltiKa	Radar de mesure des précipitations O + P-AltiKa
Imageur 2	-128,9	-127,1	-130,0	-130,4	-139,1	-132,0	-132,0
Mesure 1	-109,5	-115,6	-102,1	-118,9	-127,1	-120,5	-120,5
Critère de brouillage	-123	-123	-123	-123	-112	-112	-123

TABLEAU 7

Statistiques relatives aux événements de simulation dépassant le critère de brouillage⁽¹⁾

Système de radiolocalisation	Description des détecteurs actifs spatioportés						
	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode scrutation	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 400 km, mode pointage vers le nadir	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode scrutation	Radar de mesure des précipitations GPM, altitude de 750 km, mode pointage vers le nadir	Altimètre O-AltiKa	Altimètre O + P-AltiKa	Radar de mesure des précipitations O + P-AltiKa
Imager 2	–	–	–	–	–	–	–
Metric 1	0,0043%/1	0,0028%/1	0,0067%/1	0,0064%/2	–	–	0,0015%/2

⁽¹⁾ Le premier chiffre correspond au pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de brouillage a été dépassé. Le deuxième chiffre correspond à la durée de l'événement de brouillage le plus long pendant les différents incréments de temps retenus pour la simulation, chaque incrément de temps étant égal à une seconde. Un tiret correspond au cas où le critère de brouillage a été respecté pour tous les dépassements pendant n'importe quel incrément de temps durant la simulation.

4 Résumé

Les CDF des niveaux de brouillage que pourraient causer sept types de constellations de détecteurs actifs spatioportés à cinq types différents de stations de radiolocalisation, sur une période de 30 jours, ont été présentées. Le pourcentage de temps pendant lequel le niveau de puissance brouilleuse admissible à court terme subie par une station de radiolocalisation a été dépassé était compris entre moins de 0,0001% et 0,0035%. La durée des événements de brouillage dépassant ce niveau de brouillage admissible à court terme était inférieure à la limite maximale sauf dans le cas du détecteur actif qui a dépassé le niveau de brouillage admissible pendant 4 à 4,5 s à comparer avec la limite de 3 s.

Les CDF des niveaux de brouillage causé à chacun des sept types de détecteurs actifs spatioportés sur une période de 30 jours par les radars imageurs et les radars de mesure les plus puissants ont été présentées. Le pourcentage de temps pendant lequel le critère de brouillage spécifié a été dépassé était compris entre moins de 0,0015% et 0,0067%.

Les résultats de ces simulations dynamiques donnent d'autres informations prouvant que le partage entre les détecteurs actifs spatioportés et les systèmes de radiolocalisation dans la bande 35,5-36 GHz est possible.

Annexe 2

Partage de la bande 35,5-36 GHz entre le SETS et le service de recherche spatiale (active) et le service fixe

La présente étude a pour objet de vérifier que le service fixe bénéficiant d'attributions dans certains pays de la Région 1 au titre du numéro 5.549 du RR est protégé contre les brouillages causés par le SETS (active) et le service de recherche spatiale (active) dans la bande 35,5–36 GHz.

1 Caractéristiques techniques

1.1 Caractéristiques des systèmes du SETS et du service de recherche spatiale

Voir l'Annexe 1.

1.2 Caractéristiques du service fixe et critère de brouillage

Les caractéristiques techniques applicables aux systèmes du service fixe exploités au voisinage de 35 GHz sont supposées être analogues à celles données pour la bande 37-39 GHz. Dans cette bande sont exploités plusieurs types de systèmes énumérés dans la Recommandation UIT-R F.758. Il s'agit de systèmes point à point ou de systèmes point-multipoint (P-MP).

Pour vérifier qu'il n'y a pas de problème de partage entre les systèmes du SETS (active) et les systèmes du service fixe, on a choisi un système point à point et un système P-MP dont les caractéristiques sont données dans les Tableaux 8 et 9.

Le critère à long terme ($I/N = -10$ dB) ne doit pas être dépassé pendant plus de 20% du temps. On a choisi un critère à court terme correspondant à un rapport I/N de 14 dB qui ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,01% du temps.

TABLEAU 8

Caractéristiques du système point à point

Bande de fréquences (GHz)	37-39,5
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	44,3
Affaiblissement d'alimentation/de multiplexage (minimal) (dB)	0,96
Type d'antenne	Circulaire
Largeur de bande FI du récepteur (MHz)	3,5
Facteur de bruit du récepteur (dB)	10
Bruit thermique du récepteur (dBW)	-133,4
Brouillage nominal à court terme (dBW) (pourcentage de temps)	-119,4 (0,01%)
Brouillage nominal à long terme (dBW)	-143,4

TABLEAU 9

Caractéristiques du système P-MP

Bande de fréquences (GHz)	37-40
Gain d'antenne (maximal) (dBi) Antenne plate circulaire Antenne plate sectorielle (90°/45°/15°)	14/17/20
Affaiblissement d'alimentation/de multiplexage (minimal) (dB)	0
Type d'antenne	Secteur
Polarisation d'antenne	V/H
Ouverture de faisceau d'antenne (3 dB) en azimut/élévation (degrés)	1 > 15
Largeur de bande FI du récepteur (MHz)	28/1,3
Facteur de bruit du récepteur (dB)	7
Bruit thermique du récepteur (dBW)	-137
Brouillage nominal à court terme (dBW) (pourcentage de temps)	-123 (0,01%)
Brouillage nominal à long terme (dBW)	-147

2 Méthode d'analyse

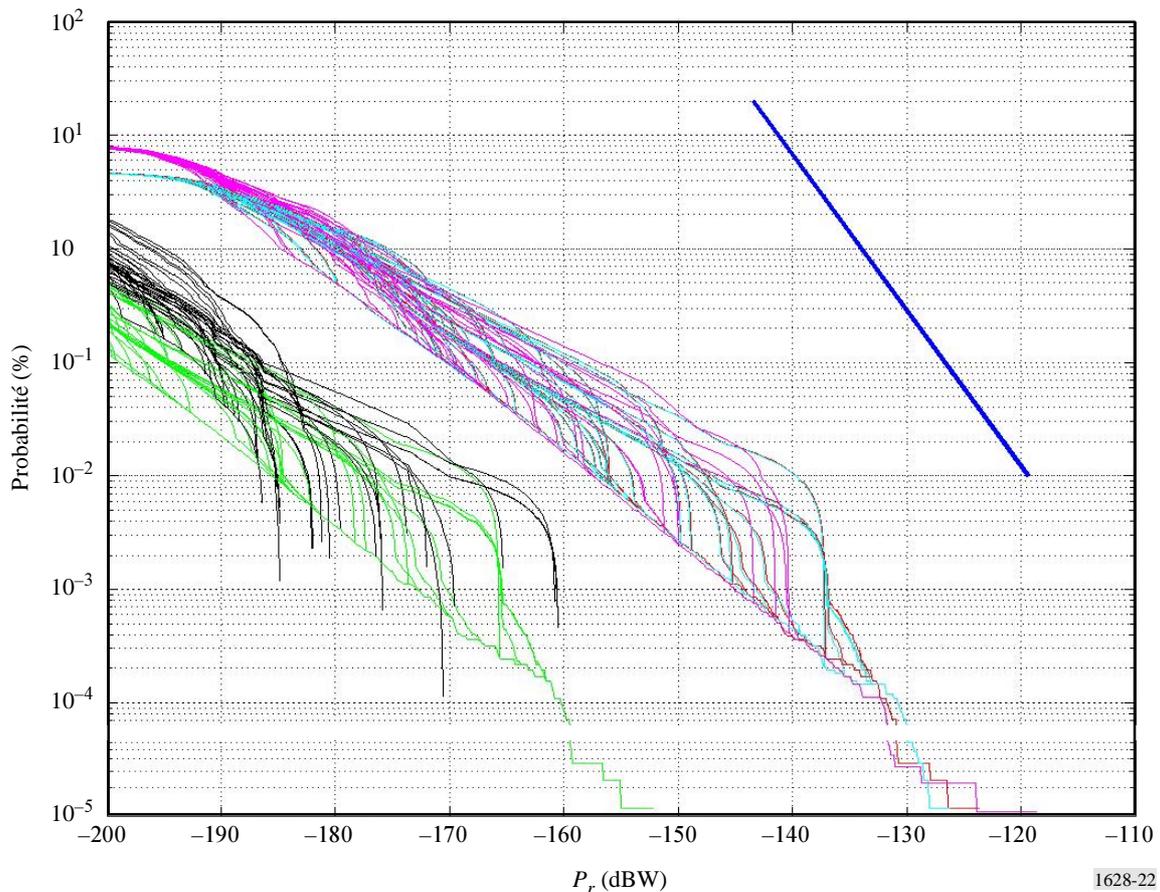
La même que celle indiquée dans l'Annexe 1. Aucun facteur de forme n'a été pris en considération pour les radars de mesure des précipitations dans les simulations. Au cas où ce paramètre serait pris en considération, il faudrait ajouter une marge supplémentaire de 5 à 10 dB à la marge indiquée au § 3.

3 Résultats des analyses

3.1 Systèmes point à point du service fixe

Des simulations ont été effectuées pour un seul système du SETS et pour un récepteur point à point du service fixe sur une période de 24 h. Trente-cinq angles d'azimut différents (de 0° à 350° par pas de 10°) et un angle d'élévation de 5° ont été pris en considération pour l'antenne du récepteur du service fixe. La Fig. 22 illustre les résultats obtenus pour tous les systèmes du SETS et pour tous les azimuts de l'antenne du système du service fixe.

FIGURE 22
CDF de la puissance reçue

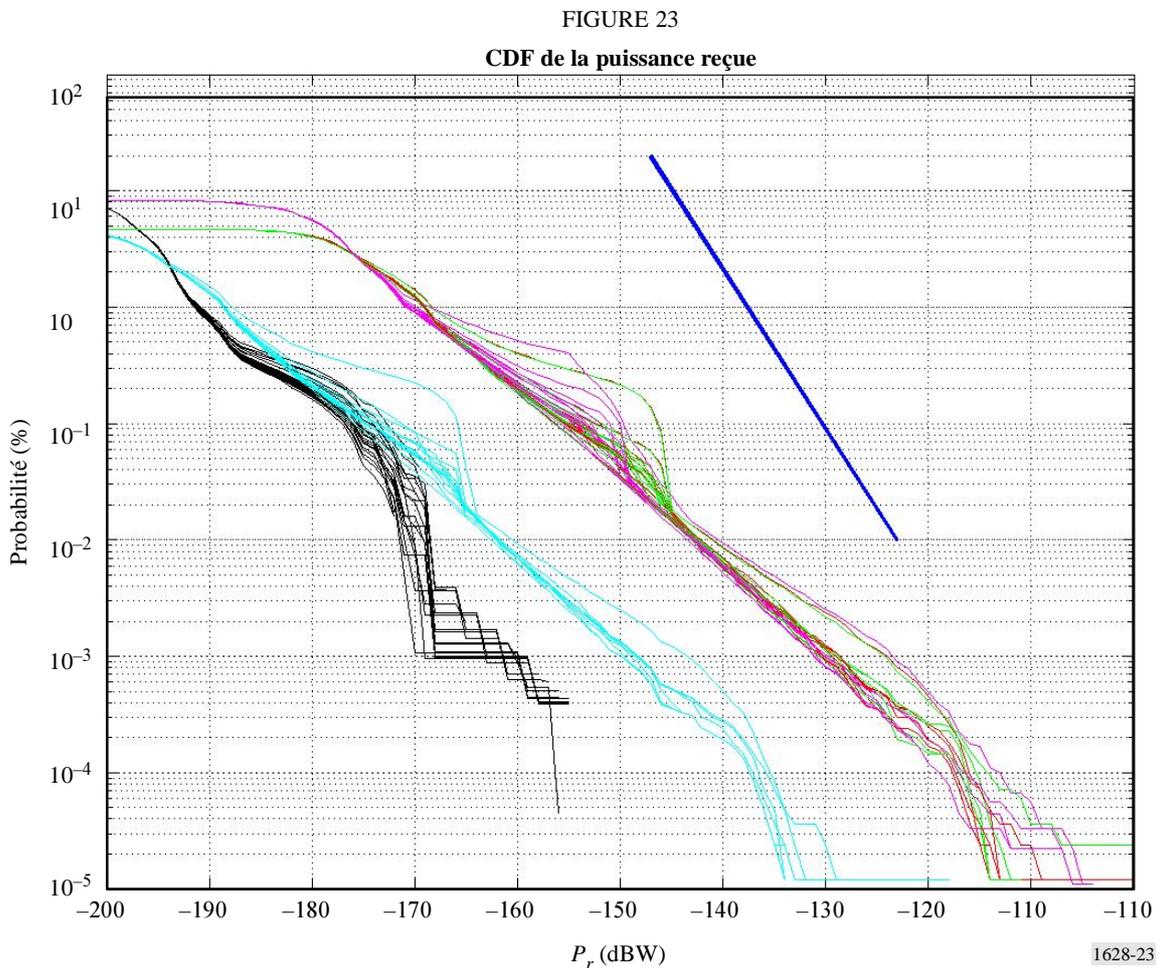


La Fig. 22 fait apparaître qu'il y a une marge de 20 à 45 dB entre les courbes des CDF et les critères de protection, selon le système considéré. Même s'il y avait plusieurs satellites différents du service d'exploration de la Terre par satellite (pourcentage \times nombre de systèmes du SETS), la marge

resterait de l'ordre de 15 à 20 dB. Etant donné que pratiquement il est impossible de porter la puissance de crête des systèmes du SETS (active) à cette valeur, il n'est pas nécessaire d'imposer d'autres contraintes au SETS (active) ou au service de recherche spatiale (active) dans cette bande pour protéger les liaisons point à point du service fixe.

3.2 Systèmes P-MP du service fixe

Des simulations ont été effectuées pour un seul système du SETS et pour un récepteur P-MP du service fixe sur une période de 24 h. Trente-cinq angles d'azimut différents (de 0° à 350° par pas de 10°) et un angle d'élévation de 5° ont été pris en considération pour l'antenne sectorielle du récepteur du service fixe. La Fig. 23 illustre les résultats obtenus pour tous les systèmes du SETS et pour tous les azimuts de l'antenne du système du service fixe.



La Fig. 23 fait apparaître qu'il y a une marge de 15 à 40 dB entre les courbes des CDF et les critères de protection selon le système considéré. Même s'il y avait plusieurs satellites du SETS différents (pourcentage \times nombre de systèmes du SETS), la marge resterait de l'ordre de 10 à 15 dB. Etant donné que concrètement il est impossible de porter la puissance de crête des systèmes du SETS (active) à cette valeur, il n'est pas nécessaire d'imposer d'autres contraintes au SETS (active) ou au service de recherche spatiale (active) dans cette bande pour protéger les liaisons P-MP du service fixe.

4 Résumé

Les simulations effectuées ont montré qu'il n'y a pas de problème de partage entre le service fixe d'une part et le SETS (active) et le service de recherche spatiale (active) d'autre part, dans la bande 35,5-36 GHz. Les résultats des simulations font apparaître:

- une marge minimale de 20 dB entre le brouillage maximal et le critère de protection dans le cas d'un récepteur point à point;
- une marge minimale de 15 dB entre le brouillage maximal et le critère de protection dans le cas d'un récepteur P-MP.

Cette marge devrait être augmentée de $10 \log(d.c.)$, où d.c. est le facteur de forme des radars de mesure des précipitations spatioportés.

Compte tenu de ces marges, il n'est nécessaire d'imposer aucune contrainte au SETS (active) ou au service de recherche spatiale (active) pour protéger le service fixe dans la bande 35,5-36 GHz.
