

RECOMMANDATION UIT-R S.1554

Méthode de détermination de la précision globale des mesures d'epfd_↓

(Question UIT-R 236/4)

(2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a adopté un ensemble de limites de puissance surfacique équivalente sur la liaison descendante (epfd_↓) de validation pour une seule source de brouillage, de limites d'epfd_↓ opérationnelles pour une seule source de brouillage et, pour certaines tailles d'antenne, de limites d'epfd_↓ opérationnelles additionnelles pour une seule source de brouillage figurant dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications (RR), ainsi que les limites de puissance cumulative figurant dans la Résolution 76 (CMR-2000), qui s'appliquent aux systèmes du service fixe par satellite (SFS) non géostationnaires (OSG) afin de protéger les réseaux OSG dans certaines parties de la bande 10,7-30 GHz;
- b) que le Bureau des radiocommunications n'a pas à vérifier si le système du SFS non OSG se conforme aux limites d'epfd_↓ opérationnelles pour une seule source de brouillage;
- c) que les administrations qui disposent d'assignations à des réseaux du SFS OSG et/ou du service de radiodiffusion par satellite OSG déjà mises en service, ainsi que les administrations qui disposent d'assignations aux systèmes du SFS non OSG déjà mises en service, ont besoin de disposer de moyens fiables permettant de s'assurer du respect par les systèmes du SFS non OSG des limites opérationnelles pour une seule source de brouillage visé au *considérant* a);
- d) que les niveaux d'epfd_↓ peuvent devoir être mesurés au niveau de stations terriennes opérationnelles de système OSG afin de déterminer si les limites opérationnelles sont dépassées,

notant que

- a) la Recommandation UIT-R S.1558 est en cours d'élaboration pour définir une méthode permettant de mesurer les niveaux d'epfd_↓,

recommande

- 1 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour déterminer la précision de la procédure de mesure.

ANNEXE 1

Méthode de détermination de la précision globale des mesures d'epfd↓**1 Introduction**

La CMR-2000 a adopté des limites d'epfd opérationnelles afin de protéger les liaisons du SFS OSG contre toute perte de synchronisation ou dégradation de qualité de fonctionnement due aux systèmes non OSG et de protéger aussi les systèmes du SFS OSG utilisant le codage adaptatif dans la bande 30/20 GHz.

Les satellites non OSG, en raison de la configuration de leurs orbites relativement aux antennes des stations terriennes OSG, peuvent dépasser les limites opérationnelles pendant seulement de brèves périodes (s). Les limites opérationnelles pourraient être mesurées au niveau des stations terriennes qui subissent une perte de synchronisation ou une dégradation de qualité de fonctionnement à des moments imprévus (par exemple, non causées à l'évidence par un très fort évanouissement dû à la pluie, par une interruption due à l'activité solaire ou par une panne d'équipement associée à un basculement).

L'opérateur du satellite OSG déterminerait alors si la perte de synchronisation ou la dégradation de qualité de fonctionnement est due à un brouillage par alignement causé par un système du SFS non OSG au réseau OSG. S'il constate qu'il y a corrélation entre la perte de synchronisation ou la dégradation de la qualité de fonctionnement et l'alignement d'un système non OSG, il procédera, au moyen d'un système de mesure placé sur le site de la station terrienne de réception du système OSG affectée, à des mesures du niveau du brouillage causé par le système non OSG à la station terrienne du système OSG.

La procédure de mesure préférée consiste à placer dans le même faisceau que la station terrienne affectée, une station terrienne de monitoring de porteuses (CSM, *carrier system monitoring*) bien étalonnée. La station CSM délivre un niveau de référence étalonné pour la station terrienne affectée. Elle permet de centraliser les compétences nécessaires à l'étalonnage. En outre, il est souhaitable de placer un système de mesure automatisé au niveau de la station terrienne affectée afin de réduire les risques d'erreur humaine affectant les résultats.

Dans la présente Annexe, on calcule la précision globale des mesures opérationnelles du brouillage causé par un système non OSG dans le cas de la procédure de mesure préférée.

Liste des abréviations

AFB:	amplificateur à faible bruit
B:	largeur de bande
CSM:	monitorage de système de porteuses
DSP:	processeur numérique de signal
S/N:	rapport signal/bruit
T:	temps (s)

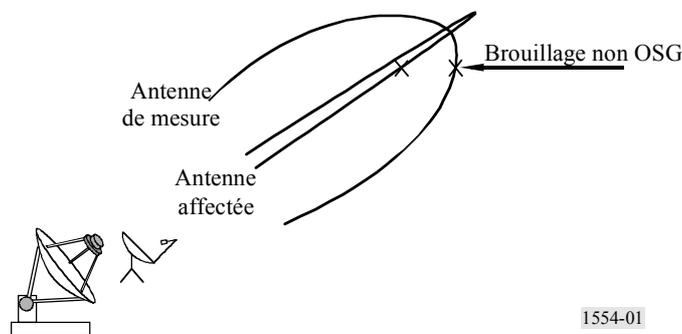
2 Mise en oeuvre pratique de la procédure de mesure avec utilisation d'un DSP, un analyseur de spectre ou un puissance-mètre

Un élément déterminant de la précision de mesure du brouillage causé par un système non OSG est l'étalonnage du système. Cet étalonnage pourra être réalisé au moyen d'un équipement intégré à la station terrienne affectée ou d'un système portable bien calibré amené à la station terrienne affectée ou bien, être réalisé à distance depuis une station CSM. De plus, le système portable pourra être mis en oeuvre avec une antenne à balayage. Chaque type de système correspond à un ensemble spécifique de compromis.

Pour mesurer l' $epfd_{\downarrow}$ avec précision, une des approches directes consisterait à intégrer l'équipement de mesure et d'étalonnage à la station terrienne affectée. Toutefois, cette méthode entraînera une interruption du service OSG, pendant l'intégration et l'étalonnage de système. Cette interruption pourra durer plusieurs heures. De plus, le service sera de nouveau probablement interrompu lorsque l'équipement de mesure sera demandé sur un autre site de station terrienne.

Un système de test autonome et portable est peut-être l'approche la plus efficace en terme de coût. Le système n'interrompra pas l'exploitation du système OSG et l'étalonnage pourra être exécuté plus tôt. Il est possible que le système de test portable exige l'utilisation d'une antenne plus petite que celle de la station terrienne affectée par le brouillage. Auquel cas, les niveaux d' $epfd$ provenant du système non OSG reçus sur l'antenne à plus grande ouverture de faisceau pourraient être supérieurs à ceux reçus sur l'antenne de la station affectée à des angles hors axe faibles comme le montre la Fig. 1.

FIGURE 1
Mesures avec une petite antenne de mesure et une grande antenne de station terrienne



1554-01

Il existe deux solutions au problème posé dans la Fig. 1. Si la direction du brouillage non OSG est connue, la différence de gain entre l'antenne de test et l'antenne de la station terrienne affectée peut être déterminée si les diagrammes d'antenne respectifs sont connus avec précision. Ou bien, l'antenne de test pourrait suivre le satellite non OSG. En outre, si l'antenne de poursuite a une taille suffisante, elle permettra une discrimination entre le signal OSG et le signal brouilleur non OSG en cours de mesure jusqu'à ce que le satellite non OSG se trouve dans le lobe principal de l'antenne du système OSG.

Avec une antenne plus petite de mesure, le rapport S/N sera inférieur par rapport à une antenne plus grande recevant un signal de même niveau. La durée de mesure nécessaire pour obtenir le même niveau de précision sera d'autant plus longue que le rapport S/N à la réception sera faible. Le Tableau 1 montre, les ouvertures de faisceau à demi-puissance et les rapports S/N (en supposant une température de récepteur de 200 K), pour différentes tailles d'antenne. Les rapports S/N

correspondent à des niveaux de signal égaux aux valeurs des limites opérationnelles pour une antenne de 3 m ($-161,25 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) et pour une antenne de 10 m ($-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$).

TABLEAU 1

Caractéristiques de mesure pour différentes tailles d'antenne de station terrienne

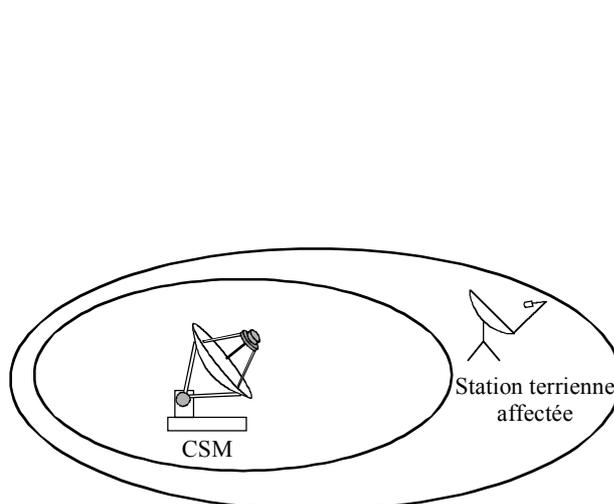
Diamètre de l'antenne (m)	Ouverture de faisceau à demi-puissance (degrés)	S/N (Niveau du signal = $-161,25 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) S/N (dB)	S/N (Niveau du signal = $-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) S/N (dB)
2	1,75	1,4	-3,3
3	0,58	4,5	-0,2
10	0,175	15	10,3

En définitive, si l'on dispose d'une station terrienne CSM étalonnée placée dans le même faisceau que la station terrienne affectée, elle peut effectuer l'étalonnage pour la station terrienne affectée. La station CSM est étalonnée avec une très grande précision et peut être utilisée pour déterminer le niveau du signal reçu à la station terrienne affectée.

La Fig. 2 montre la station CSM et la station terrienne affectée. Il convient de noter que la station CSM reçoit le même signal du satellite que la station terrienne affectée, mais avec un gain de satellite différent. Etant donné que les gains d'antenne de satellite relatifs dans la direction des deux stations terriennes sont connus (mesures de test en orbite), la station CSM peut étalonner le niveau du signal reçu par la station terrienne affectée. Ce niveau de référence peut alors être utilisé pour déterminer le bruit et les niveaux de brouillage de la station terrienne affectée.

FIGURE 2

Configuration dans laquelle une station CSM assure l'étalonnage pour une station terrienne affectée



Nous traitons principalement ici de la précision de la méthode dans laquelle une station CSM sert à étalonner le niveau du signal reçu de la station terrienne affectée. La procédure de mesure est la suivante:

- La station CSM et la station terrienne affectée peuvent effectuer les mesures sur le signal de balise du satellite. Cette mesure porte sur un niveau de signal stable et connu qui peut être utilisé pour l'étalonnage de la station CSM. Elle donne également une évaluation du différentiel entre l'affaiblissement atmosphérique au niveau de la station terrienne affectée relativement à celui de la station CSM.

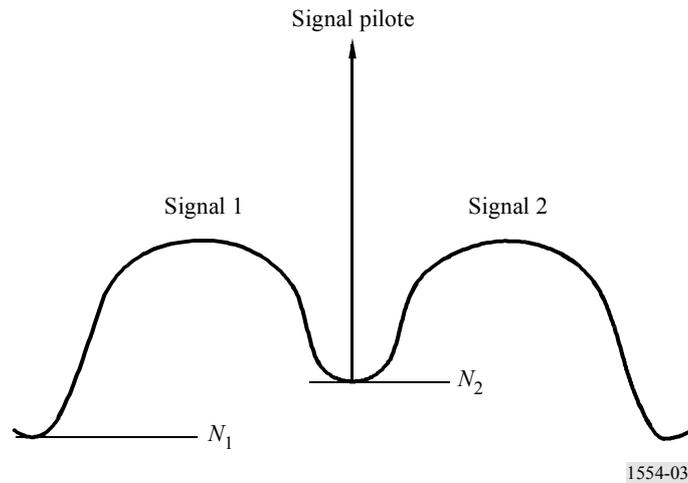
Si les variations de niveau du signal de balise dues à une erreur en stabilité et une erreur de mesure sont supérieures aux variations dues aux effets atmosphériques, la mesure sur la balise pourra ne pas être valable. Dans la présente Annexe, on suppose par la suite que les mesures de brouillage sont effectuées par ciel clair et que les mesures sur la balise n'interviennent pas dans l'évaluation de la précision globale.

Il convient de noter cependant que dans le cas d'un système de satellite sur orbite terrestre basse (LEO) où les brouillages importants se produisent dans une configuration voisine de l'alignement, on peut supposer que l'évanouissement affectant le signal du système non OSG est pratiquement le même que celui qui affecte le système OSG. Par conséquent, la valeur du rapport porteuse/brouillage pour la liaison, est approximativement le même par ciel clair et pendant des précipitations. Ainsi, pour le niveau de brouillage non OSG vrai on doit tenir compte du niveau d'évanouissement.

- A la station CSM, on mesure un signal de référence. Deux types de signal de référence ont été étudiés, à savoir:
 - la porteuse de la station terrienne affectée par le brouillage;
 - un signal pilote transmis dans la bande de garde adjacente au signal affecté.

La Fig. 3 montre le signal affecté étudié. Dans la bande de garde se trouve le signal pilote qui peut être utilisé comme signal de référence pour la station CSM.

FIGURE 3
Niveaux de bruit dans la bande en fonction des niveaux de bruit hors bande



Il convient de noter que compte tenu des caractéristiques du filtre, le niveau de bruit dans la bande de garde peut être différent du niveau du bruit à la fréquence du signal. Cela peut entraîner une erreur si le signal de la station terrienne affectée est utilisé comme référence pour la station CSM. Lorsque le signal de station terrienne affectée sert de référence, il est utilisé pour déterminer le niveau de bruit N_1 . Toutefois, le brouillage est mesuré par rapport au niveau de bruit N_2 . Par conséquent, si le signal de la station terrienne affectée sert de référence, la mesure du brouillage peut être entachée d'une erreur égale à la différence entre les niveaux de bruit N_1 et N_2 .

Le signal pilote peut permettre une mesure légèrement plus précise que celle qui permet l'utilisation du signal de la station terrienne affectée comme référence. La précision calculée ici ne tient pas compte de l'erreur qui peut apparaître lorsque le signal de la station terrienne affectée sert de référence pour la station CSM.

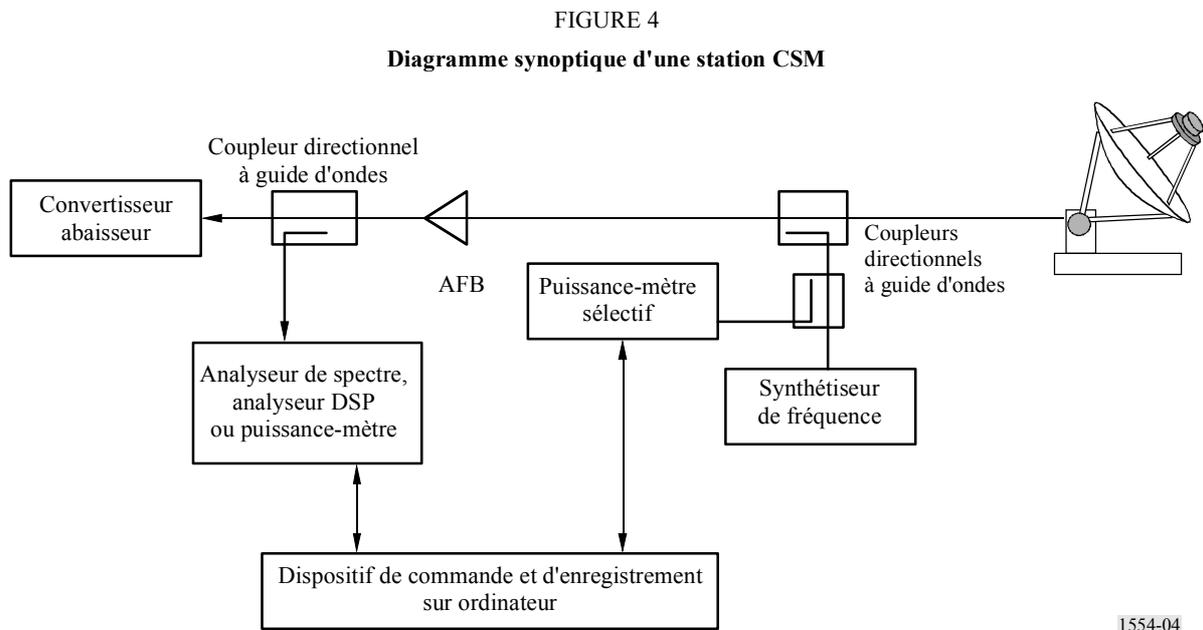
- Au niveau de la station terrienne affectée, on mesure le brouillage plus bruit ainsi que le bruit. La mesure du brouillage plus bruit est effectuée dans la bande de garde contiguë à la porteuse affectée. Le niveau de bruit peut être également mesuré dans la bande de garde, juste avant et après l'apparition du brouillage.

Toutes les mesures doivent être suffisamment rapprochées dans le temps afin que les valeurs ne puissent pas évoluer. En outre, le brouillage ne dure qu'un temps très bref, ce qui limite la durée et la précision des mesures.

Une procédure de mesure automatisée peut être utilisée. Dans la configuration de mesure utilisée, un appareil de mesure (puissance-mètre, analyseur de spectre, DSP) devra être installé dans la station terrienne affectée. La sortie du dispositif de mesure sera reliée à un ordinateur qui stockera le spectre analysé. Une impulsion brouilleuse déclenchera la mesure du brouillage plus bruit et du bruit sur les données stockées. En même temps, un signal pourra être envoyé automatiquement à la station CSM afin de demander une mesure sur la porteuse de référence dès que possible (un complément d'étude est nécessaire sur la procédure employée ici et les effets d'un délai important sur le bilan d'erreur).

3 Etalonnage du trajet radiofréquence de la station CSM

La procédure de mesure repose sur la précision du système CSM. La Fig. 4 montre un diagramme synoptique d'une station CSM dotée d'un équipement d'étalonnage directement intégré sur le trajet radiofréquence de la station terrienne.



La partie mesure de l'équipement se compose d'un analyseur de spectre, d'un analyseur DSP ou d'un puissance-mètre relié à un coupleur directionnel à guide d'ondes placé après la sortie de l'AFB. La partie étalonnage se compose d'un synthétiseur de fréquence et d'un puissance-mètre servant à étalonner l'équipement de mesure.

L'ensemble est commandé via une interface informatique. L'ordinateur commande les paramètres de mesure, les temps d'étalonnage et l'enregistrement des informations relatives aux mesures. Le synthétiseur de fréquence fournit un signal d'étalonnage de référence. Il s'agit de minimiser les effets de la dérive affectant les équipements ainsi que les variations aléatoires sur les mesures.

Des erreurs humaines peuvent fortement affecter le processus d'étalonnage, elles dépendent des compétences du personnel de la station terrienne. Le système de monitoring doit d'abord être étalonné de manière autonome. Cet étalonnage n'est pas modifié pendant le fonctionnement. Le deuxième type d'étalonnage, l'étalonnage automatique, est effectué en exploitation. Les deux types des données d'étalonnage sont nécessaires pour respecter les spécifications de précision.

Les appareils (c'est-à-dire puissance-mètres, analyseurs, synthétiseurs), antenne et composants (c'est-à-dire guide d'ondes, coupleurs, filtre FI de mesure et AFB) sont étalonnés de manière autonome. Ces opérations peuvent être effectuées périodiquement, en utilisant une procédure standard de laboratoire. On crée divers fichiers de données notamment d'étalonnage sur une plage de fréquences qui dépendent de la façon dont les mesures sont effectuées. Le synthétiseur de fréquence et les puissance-mètres sont vérifiés à intervalles réguliers pour s'assurer de la précision de l'équipement d'étalonnage.

Deux mesures automatiques d'étalonnage du gain (G_C et G_n) dans la chaîne liaison descendante de réception entre la tête de l'antenne et l'appareil de mesure doivent être effectuées. Un synthétiseur de fréquence injecte un signal à l'entrée de l'AFB. Des mesures précises faites au puissance-mètre permettent de vérifier le niveau du signal. Le niveau du signal délivré par synthétiseur est constamment contrôlé au moyen d'un puissance-mètre spécifique.

Les gains G_C et G_n sont tous deux mesurés entre l'alimentation de l'antenne et les dispositifs de mesure aux fréquences de la balise du satellite non OSG. Pour pouvoir négliger la puissance de bruit, le rapport porteuse/bruit du signal injecté doit être supérieur à 25 dB.

Le gain à la réception de la station terrienne est donné par l'équation:

$$G_C = G_n = \frac{1}{L_C(CW)} \left(\frac{P_m}{P_I L_{Cal}} \right) \quad (1)$$

dans laquelle:

- P_m : puissance mesurée au niveau du puissance-mètre
- P_I : puissance injectée
- $L_C(CW)$: affaiblissement dû au filtre de mesure pour la porteuse de référence
- L_{Cal} : erreur d'étalonnage entre la porteuse de référence et le guide d'onde de réception au niveau de l'alimentation de l'antenne.

Le Tableau 2 montre la répartition des écarts types des erreurs associés à l'équation (1). Ces incertitudes sont supposées être des variables aléatoires gaussiennes. Une évaluation statistique de Monte Carlo de l'équation (1) par ordinateur, en utilisant les incertitudes indiquées dans le Tableau 2, conduit à une incertitude de gain à la réception de $\pm 0,34$ dB.

TABLEAU 2

Erreurs de gain à la réception dans la station terrienne

Paramètre	Erreur (dB)	Observations
P_I	$\pm 0,2$	Mesure unique de la puissance au moyen d'un puissance-mètre précis
P_m	$\pm 0,2$	Mesure unique de la puissance au moyen d'un puissance-mètre précis
L_C		Variation supposée négligeable
L_{Cal}	$\pm 0,2$	Variation des mesures de puissance et variation de température
G_C, G_n	$\pm 0,34$	Evaluation de l'équation (1) en utilisant les incertitudes ci-dessus

Lorsque les mesures de bruit et de signal sont effectuées approximativement à la même fréquence, un seul étalonnage suffit.

4 Précision des mesures de brouillage et des mesures de bruit au niveau de la station terrienne affectée

La précision globale des mesures dépend de la précision des mesures de puissance, c'est-à-dire de la précision interne du dispositif de mesure et des variations dans les mesures dues au bruit. Par exemple, un analyseur de spectre HP8566A a une précision interne de mesure en amplitude d'environ $\pm 0,3$ dB.

La précision de mesure du bruit est directement liée à la durée des mesures. Le dispositif de mesure intègre la puissance du signal reçue pendant T secondes. Si le bruit à l'entrée est un bruit blanc gaussien additif, la distribution à la sortie de l'intégrateur sera en χ^2 . La moyenne, m_n , et la variance, σ^2 , des mesures du bruit seul et des mesures du signal plus bruit sont les suivantes:

$$\text{Bruit seul: } m_n = 2 M \text{ et } \sigma^2 = 4 M \quad (2)$$

$$\text{Signal plus bruit: } m_n = M S/N + 2 M \text{ et } \sigma^2 = 4 M S/N + 4 M \quad (3)$$

où:

$$M = BT$$

B : largeur de bande de mesure (Hz)

S/N : S/N à la réception.

Comme le produit BT est important, la distribution en χ^2 s'approche d'une distribution normale en vertu du théorème de la limite centrale. L'équation permettant de calculer le niveau de confiance des mesures de puissance est la suivante:

$$P_{conf} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \alpha^2} \int_{m_n(1-\Delta)}^{m_n(1+\Delta)} e^{-\frac{(q-m_n)^2}{2\sigma^2}} dq \quad (4)$$

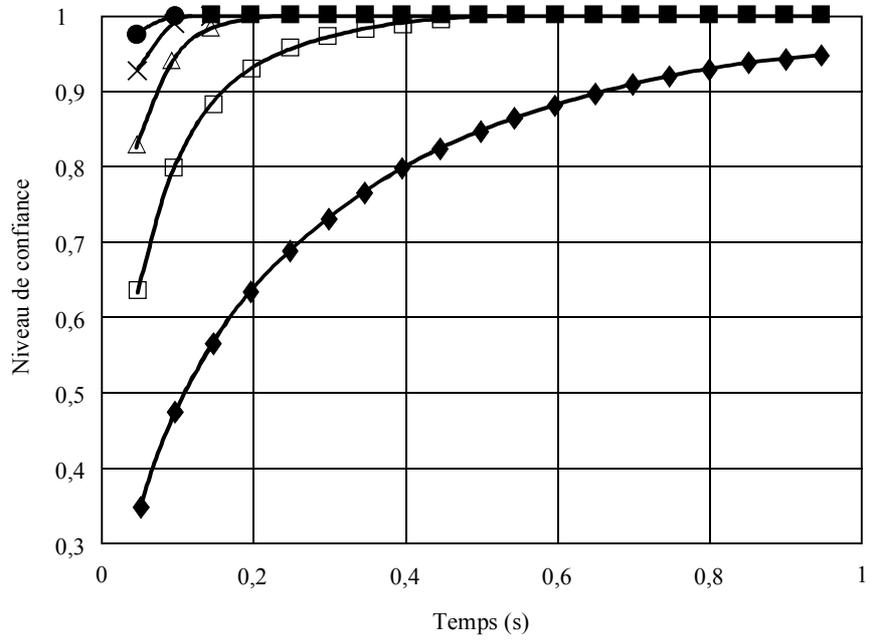
dans laquelle P_{conf} est la probabilité de se trouver à l'intérieur de la limite Δ de la puissance mesurée et q est une variable sans dimension. La précision de la mesure en dB est approximativement:

$$\text{précision de mesure} \cong \pm 10 * \log(1 + \Delta) \quad \text{dB} \quad (5)$$

La Fig. 5 représente la précision de la mesure de la puissance de bruit calculée au moyen des équations (2), (4) et (5). La largeur de bande de mesure B est supposée être égale à 40 kHz. Sur la Fig. 5 on peut constater que pour une durée de mesure de 0,1 s, la précision de la mesure est de $\pm 0,17$ dB avec un niveau de confiance de 99%. Il peut être difficile d'obtenir le niveau de confiance requis si le temps de mesure est inférieur à 0,1 s. Des résultats plus précis peuvent être obtenus en effectuant les mesures sur une largeur de bande de bruit plus grande lorsque le brouillage occupe cette largeur de bande. La précision peut également être améliorée en augmentant le temps d'intégration lorsque la durée de l'impulsion de brouillage est plus grande. Toutefois, l'allongement des temps de mesure se fait au détriment de la souplesse du système de mesure. Par exemple, il est impossible de contrôler les brouillages sur plusieurs fréquences ou il peut s'avérer difficile d'effectuer des mesures sur la crête du faisceau.

FIGURE 5

Niveau de confiance en fonction de la précision des mesures de puissance de bruit et du temps de mesure



Précision de mesure (dB)

- ◆ 0,04
- 0,09
- △ 0,13
- × 0,17
- 0,21

Le Tableau 3 montre les niveaux de confiance pour une précision de mesure de $\pm 0,2$ dB pour la mesure de la puissance signal plus bruit et pour différents produits temps largeur de bande (BT). Il convient de noter qu'un produit BT d'environ 3 000 est nécessaire pour obtenir une précision de mesure de $\pm 0,2$ dB avec une confiance de 99% même lorsque le S/N n'est que de -10 dB.

TABLEAU 3

Niveau de confiance associé à la mesure du signal plus bruit en fonction du S/N et du temps du produit BT de mesure pour une précision de mesure de $\pm 0,2$ dB

S/N (dB)	BT				
	30	99	300	1 000	3 000
-10,0	0,216	0,382	0,614	0,887	0,994
-1,2	0,224	0,395	0,632	0,888	0,996
1,5	0,236	0,415	0,658	0,889	0,997
3,1	0,249	0,436	0,685	0,891	0,999
4,3	0,262	0,457	0,71	0,893	0,999
5,3	0,275	0,477	0,733	0,896	1
6,0	0,287	0,496	0,755	0,898	1
6,7	0,298	0,514	0,774	0,901	1
7,2	0,31	0,531	0,792	0,904	1
7,7	0,32	0,547	0,808	0,906	1
8,2	0,331	0,562	0,823	0,909	1
8,6	0,341	0,577	0,837	0,912	1
9,0	0,35	0,591	0,849	0,915	1
9,3	0,36	0,604	0,861	0,917	1
9,6	0,369	0,617	0,871	0,92	1
9,9	0,378	0,629	0,881	0,922	1

La valeur quadratique de la précision d'étalonnage de l'analyseur de spectre et la précision de mesure définissent la précision globale de l'estimée de la puissance. La précision d'étalonnage de l'analyseur de spectre est de $\pm 0,3$ dB. En supposant une précision de mesure de puissance de $\pm 0,2$ dB, on obtient une précision globale de l'estimée de puissance égale à $\pm 0,36$ dB.

5 Bilan d'erreur associé à la totalité de la procédure de mesure

Dans la présente section, on décrit dans le détail un calcul de la précision globale d'une procédure de mesure. On calcule d'abord l'estimée de la précision des mesures au niveau du système CSM que l'on combine ensuite avec des mesures faites au niveau de la station terrienne affectée. Il est recommandé de revoir les résultats numériques après de plus amples études.

L'équation (6) montre l'estimée de la puissance du signal de référence au niveau du flasque d'antenne CSM. Afin de calculer cette estimée, le système CSM mesure le signal de référence plus le bruit et soustrait au résultat le niveau de bruit mesuré. Le gain du récepteur est également inclus dans l'équation (6). On suppose que les étalonnages de gain à la réception pour le signal de référence et pour le bruit sont les mêmes (à savoir que $G_n/G_C = 1$).

$$P_{Réf}(CSM) = R(CSM) / G_C - N(CSM) \cdot G_n / G_C \quad (6)$$

où:

$P_{Réf}$: puissance du signal de référence reçue au niveau du flasque de l'antenne

R : puissance reçue (signal de référence + bruit) à l'entrée du dispositif de mesure

N : puissance bruit au niveau du flasque de l'antenne.

Les effets de la mesure de bruit sur la précision globale de la puissance $P_{Réf}$ seront d'autant plus faibles que le rapport signal de référence/bruit est élevé. Dans la présente analyse, les calculs sont effectués en supposant un rapport S/N référence de 10 dB.

Le Tableau 4 montre l'écart-type associé à chaque paramètre de l'équation (6). En supposant que chaque paramètre est une variable aléatoire gaussienne à moyenne nulle, l'évaluation de Monte Carlo de l'équation (6) conduit à une incertitude de $\pm 0,45$ dB.

TABLEAU 4

Précision de la mesure du signal de référence CSM

Paramètre	Erreur (dB)	Observation
G_C, G_n	$\pm 0,34$	Calculée à partir de l'équation (1) et du Tableau 2
R	$\pm 0,2$	Mesure du signal de référence + bruit
N	$\pm 0,2$ $\pm 0,41$	Mesure de la puissance simple au moyen d'un puissance-mètre précis Précision associée à un S/N de 10 dB
$P_{Réf}(CSM)$	$\pm 0,45$	Evaluation de l'équation (6) en utilisant les erreurs ci-dessus

Le niveau du signal de référence calculé au niveau du système CSM est traduit en un niveau de référence à la station terrienne affectée au moyen de l'équation (7). Dans cette équation, on suppose que des mesures précises de test en orbite sont disponibles de sorte que les gains relatifs des antennes du satellite au niveau du système CSM et de la station terrienne affectée sont connus.

$$P_{Réf}(ES) = P_{Réf}(CSM) \cdot \Delta G \cdot \Delta L_{FS} \cdot \Delta L_{ATM} \cdot \Delta G_{sat} \quad (7)$$

dans laquelle:

$P_{Réf}(ES)$: niveau du signal de référence à la station terrienne affectée

$\Delta G = \frac{G(ES)}{G(CSM)}$: rapport gain d'antenne de la station terrienne affectée à gain d'antenne de la station CSM

$\Delta L_{FS} = \frac{L_{FS}(ES)}{L_{FS}(CSM)}$: rapport affaiblissement en espace libre dans la direction de la station terrienne affectée à affaiblissement en espace libre dans la direction de la station CSM

$\Delta L_{ATM} = \frac{L_{ATM}(ES)}{L_{ATM}(CSM)}$: rapport affaiblissement atmosphérique au niveau de la station terrienne affectée à affaiblissement atmosphérique au niveau de la station CSM

$\Delta G_{sat} = \frac{G_{sat}(ES)}{G_{sat}(CSM)}$: rapport gain d'antenne du satellite dans la direction de la station terrienne affectée à gain d'antenne du satellite dans la direction de la station CSM.

Le Tableau 5 montre l'écart-type de chaque paramètre de l'équation (7). En supposant que chaque paramètre est une variable aléatoire gaussienne à moyenne nulle et en simulant l'équation (7), l'incertitude est de $\pm 0,56$ dB.

TABLEAU 5

Précision des mesures réalisées à la station CSM relativement à celles réalisées à la station terrienne affectée

Paramètre	Erreur (dB)	Observations
$P_{Réf}(CSM)$	$\pm 0,45$	Extrait du Tableau 4
ΔG	$\pm 0,2$	Erreur de pointage plus erreur d'étalonnage de l'antenne
ΔL_{FS}	$\pm 0,0$	
ΔL_{ATM}	$\pm 0,1$	Les mesures sont supposées être réalisées par ciel clair
ΔG_{sat}	$\pm 0,2$	Supposé être connu à partir des mesures de test en orbite
$P_{Réf}(ES)$	$\pm 0,56$	Simulation de l'équation (7) en utilisant les incertitudes figurant dans les Tableaux 4 et 5

Le niveau de référence mesuré à la station CSM est également mesuré à la station terrienne affectée. Le niveau mesuré à la station terrienne affectée est appelé $\hat{P}_{Réf}(ES)$.

L'équation (8) montre la façon dont les niveaux de référence mesurés sont utilisés pour étalonner le niveau de bruit à la station terrienne affectée:

$$N_{cal} = N_{meas} \frac{P_{Réf}(ES)}{\hat{P}_{Réf}(ES)} \quad (8)$$

où:

N_{cal} : niveau de bruit étalonné à la station terrienne affectée

N_{meas} : niveau de bruit mesuré à la station terrienne affectée.

Le Tableau 6 montre l'écart-type de chaque paramètre de l'équation (8). En supposant que chaque paramètre est une variable aléatoire gaussienne à moyenne nulle et en simulant l'équation (8) on obtient une incertitude de $\pm 0,75$ dB.

TABLEAU 6

Précision de l'estimée de niveau de bruit à la station terrienne affectée

Paramètre	Erreur (dB)	Observations
$P_{Réf}(ES)$	$\pm 0,56$	Calculé dans le Tableau 5
$\hat{P}_{Réf}(ES)$	$\pm 0,36$	Mesure de puissance simple effectuée avec l'analyseur de spectre HP8566A
N_{meas}	$\pm 0,36$	Mesure de puissance simple avec l'analyseur de spectre HP8566A
N_{cal}	$\pm 0,75$	En simulant l'équation (8) et en utilisant les incertitudes ci-dessus

Enfin, on mesure le brouillage + bruit au niveau de la station terrienne affectée. Le niveau du bruit étalonné est déduit de cette mesure afin de déterminer le niveau de brouillage tel qu'indiqué dans l'équation (9):

$$P_I(ES) = P_{I+N}(ES) - N_{cal}(ES) \quad (9)$$

où:

$P_I(ES)$: puissance de brouillage reçu par la station terrienne affectée

$P_{I+N}(ES)$: brouillage + bruit reçus par la station terrienne affectée.

Le Tableau 7 montre l'écart-type associé à chaque paramètre de l'équation (9). La somme quadratique de ces paramètres fait apparaître une incertitude globale de $\pm 0,82$ dB.

TABLEAU 7

Précision de l'estimée de niveau de brouillage à la station terrienne affectée

Paramètres	Erreur (dB)	Observations
$N_{cal}(ES)$	$\pm 0,75$	Calculé dans le Tableau 6
$P_{I+N}(ES)$	$\pm 0,36$	Mesure de puissance simple faite avec l'analyseur de spectre HP8566A
$P_I(ES)$	$\pm 0,82$	Somme quadratique des incertitudes ci-dessus

6 Résumé

La précision globale de mesure estimée dans la présente Annexe est de $\pm 0,82$ dB.

Les calculs reposent sur les hypothèses suivantes:

- Des variations du niveau du signal non OSG dues aux variations de trafic pendant la mesure ont été négligées.
- La station CSM se trouve dans le même faisceau que la station terrienne affectée. La station CSM est bien étalonnée avec un système de monitoring intégré. Des erreurs d'étalonnage dans le circuit de mesure ont été négligées.
- Le signal de référence au niveau du site CSM est supposé être un signal pilote émis dans la bande de garde adjacente à la porteuse brouillée par le système non OSG.
- La station terrienne affectée est équipée d'un système de mesure automatique. Ce système détecte les impulsions de brouillages provenant du satellite non OSG et stocke une quantité suffisante de données pour que le niveau de brouillage crête puisse être mesuré avec précision.
- Le monitoring au niveau de la station terrienne affectée se fait uniquement sur une seule fréquence. Si plusieurs fréquences doivent être monitorées, il se peut que le temps ne soit pas suffisant pour effectuer des mesures précises.
- Toutes les mesures ont été réalisées à des instants proches de celui où apparaît le brouillage causé par le satellite non OSG de sorte qu'il n'y a pas de variation du bruit du système de réception due au phénomène d'intermodulation et au brouillage causé par le satellite adjacent. Cette hypothèse devra peut-être être étudiée plus avant.