

## RECOMMANDATION UIT-R S.1558

**Méthodes de mesure permettant de vérifier la conformité de l'epfd<sub>↓</sub> émise par une station spatiale non géostationnaire avec les limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles**

(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 la puissance surfacique équivalente sur la liaison descendante (epfd<sub>↓</sub>) de validation pour une seule source de brouillage, de limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles additionnelles pour une seule source de brouillage et, pour certaines tailles d'antenne, des limites d'epfd<sub>↓</sub> additionnelles, opérationnelles pour une seule source de brouillage, limites spécifiées dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications (RR), ainsi que des limites cumulatives spécifiées dans la Résolution 76 (CMR-2000), qui s'appliquent aux systèmes non géostationnaires (non OSG) du service fixe par satellite (SFS) afin de protéger les réseaux OSG dans certaines parties de la bande 10,7-30 GHz;
- b) que les limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles ont été adoptées par la CMR-2000 pour protéger les réseaux du SFS OSG opérationnels contre des niveaux de brouillage qui peuvent se traduire par une dégradation très importante de la qualité de fonctionnement;
- c) que les limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles ont également été adoptées par la CMR-2000 pour protéger les réseaux du SFS OSG utilisant le codage adaptatif contre des niveaux de brouillage qui peuvent provoquer une perte de capacité, ce qui est considéré comme une dégradation sévère;
- d) que la Résolution 137 (CMR-2000) invite l'UIT-R à définir, l'objectif étant qu'elles soient élaborées d'ici 2003, des méthodes de mesure susceptibles d'être utilisées par les administrations pour vérifier la conformité d'un système non OSG du SFS avec ces limites opérationnelles;
- e) que, compte tenu du résultat de ces mesures, un système non OSG causant des brouillages peut se voir imposer une réduction de ses niveaux de puissance d'epfd<sub>↓</sub> en direction de la station terrienne OSG affectée afin de respecter les limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles spécifiées pour une seule source de brouillage sauf s'il en est décidé autrement par les administrations concernées;
- f) que l'UIT-R ne vérifie pas la conformité d'un système non OSG du SFS avec les limites d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelles spécifiées pour une seule source de brouillage;
- g) qu'il appartient normalement aux administrations et à leurs opérateurs de systèmes OSG de déterminer si un système non OSG du SFS ne respecte pas la limite opérationnelle d'epfd<sub>↓</sub> au niveau d'une station terrienne OSG en exploitation;
- h) que dans les cas les plus défavorables, le dépassement des limites opérationnelles sera probablement de courte durée (une fraction de seconde à plusieurs secondes) et se reproduira à intervalles de plusieurs jours à plusieurs semaines, en fonction des caractéristiques orbitales du système non OSG;
- j) qu'une perte de synchronisation ou une forte dégradation peut servir à déclencher la procédure de vérification du respect des limites opérationnelles, au moyen d'une méthode appropriée;

k) qu'un moyen fiable permettant de mesurer le brouillage réel en termes d' $epfd_{\downarrow}$  produite par un système non OSG du SFS au niveau d'une station terrienne OSG opérationnelle subissant des brouillages aiderait les administrations et les opérateurs à déterminer si le système non OSG dépasse les limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles;

l) que les procédures de mesure ont une précision et des limites opérationnelles spécifiques dont il faut tenir compte pendant le processus de mesure,

*notant*

a) que des procédures réglementaires sont en cours d'élaboration pour permettre la résolution rapide des cas de dépassement avéré des limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles;

b) que la Recommandation UIT-R S.1527 a été élaborée pour pouvoir identifier les satellites d'un système non OSG particulier;

c) que la Recommandation UIT-R S.1554 a été élaborée afin d'évaluer la précision globale des mesures d' $epfd_{\downarrow}$ ,

*recommande*

1 aux administrations et à leurs opérateurs de systèmes OSG d'utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 1 pour déterminer si le brouillage causé par un système non OSG du SFS est dû à un dépassement des limites opérationnelles d' $epfd_{\downarrow}$  au niveau d'une station terrienne OSG en exploitation.

NOTE 1 – D'autres méthodes de mesure pourront être identifiées. Il sera possible d'ajouter ces méthodes dans la présente Recommandation en temps opportun.

## ANNEXE 1

### 1 Introduction

La présente Annexe définit des méthodes de mesure de la puissance surfacique rayonnée par une station spatiale non OSG et reçue par l'antenne d'une station terrienne opérationnelle d'un système OSG utilisant en partage les mêmes bandes de fréquences. Cette puissance peut ensuite être comparée avec les limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles spécifiées dans l'Article 22 du RR pour déterminer si ces limites sont dépassées par la station spatiale non OSG considérée. Ces limites doivent être respectées en vertu du numéro 22.5I du RR, afin de protéger des liaisons du SFS non OSG contre toute perte de synchronisation ou toute dégradation de la qualité de fonctionnement<sup>1</sup> causée par le passage de satellites non OSG au voisinage ou à l'intérieur du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne du système OSG.

Trois méthodes ont été identifiées, qui présentent des avantages et des inconvénients. Chaque méthode est décrite dans le détail dans les § 2, 3 et 4.

Ces méthodes peuvent être utilisées individuellement ou en association lorsqu'il y a perte subite de la synchronisation ou dégradation subite de la qualité de fonctionnement d'une station terrienne OSG (c'est-à-dire non manifestement causées par un évanouissement dû à une forte précipitation, un évanouissement de scintillation, une interruption due à l'activité solaire, une source de brouillage

---

<sup>1</sup> Est aussi incluse la protection contre la perte de capacité de systèmes du SFS OSG utilisant un codage adaptatif.

terrestre (radar ou autre), ou une panne d'équipement et/ou la commutation associée). L'opérateur du satellite OSG peut alors déterminer, à partir des éphémérides, s'il y a eu configuration d'alignement ou de quasi-alignement sur le site de la perte de synchronisation et communiquer les résultats des mesures à l'opérateur du système non OSG en cause.

Les alignements ou les quasi-alignements seront normalement rares et il faudra impérativement soit entièrement automatiser les méthodes décrites dans les § 2, 3 et 4, soit déterminer avec précision les instants de réapparition de ces phénomènes.

La méthode décrite dans le § 2 permet de déterminer si une perte de synchronisation ou une forte dégradation est susceptible de se produire et si les limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles ont pu être dépassées. Si l'on estime que le problème peut être dû à un pic de brouillage causé par un système non OSG, les Méthodes 2 ou 3 pourront être utilisées pour mesurer le niveau de crête d' $epfd_{\downarrow}$ . La méthode 1 nécessite un minimum de ressources en personnel et en équipement.

Des méthodes sont présentées de manière détaillée dans les § 3 et 4. On pourra utiliser chacune de ces méthodes soit de manière autonome pour déterminer plus précisément l' $epfd_{\downarrow}$ , soit dans le cadre d'une procédure suivant la méthode décrite dans le § 2. Aucune de ces méthodes ne suppose la présence d'un signal pilote non OSG particulier.

Dans le § 3 le niveau de brouillage est mesuré dans les bandes de fréquences situées entre les porteuses adjacentes qui ont subi une perte de synchronisation ou dont la qualité de fonctionnement a été dégradée<sup>1</sup>. On suppose que la porteuse de trafic brouilleuse occupe une largeur de bande suffisante pour contenir la porteuse brouillée et la bande de garde comprise entre celle-ci et la porteuse adjacente, et aussi que le niveau de la bande latérale de la porteuse est suffisamment faible pour pouvoir mesurer le niveau du brouillage dans la bande de garde. Cette méthode s'applique également au cas où plusieurs porteuses du système non OSG fonctionnant en mode accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) couvrent à la fois la porteuse affectée et la bande de garde. Si la porteuse non OSG occupe une largeur de bande suffisante ou s'il y a plusieurs porteuses du système non OSG AMRF, les effets du décalage Doppler sur la porteuse non OSG sont minimisés. Le mieux, pour cette méthode est d'utiliser une station terrienne de référence (par exemple, une station terrienne de surveillance des porteuses (CSM, *carrier system monitor*)), le principal avantage lié à l'utilisation d'une station CSM est qu'il n'est pas nécessaire de connaître le gain de la chaîne de réception de la station terrienne affectée.

Dans le § 4 sont décrites certaines techniques d'autocorrélation et de corrélation croisée permettant d'obtenir le niveau de brouillage à partir d'une mesure effectuée sur la porteuse non OSG en présence de la porteuse OSG affectée lorsque le niveau de la porteuse non OSG est très inférieur à celui de la porteuse OSG. Le choix de la technique à utiliser, décrite au § 4, dépend de la connaissance *a priori* du signal émis par le satellite non OSG qui est disponible séparément. Pour l'opérateur du système OSG, ces techniques sont plus compliquées à utiliser car elles sont mises en oeuvre à la fréquence centrale de la porteuse OSG.

L'étalonnage est un facteur important pour l'évaluation de la précision globale de chacune de ces techniques. La Recommandation UIT-R S.1554 contient certaines informations sur le sujet.

## 2 Méthode 1: technique simplifiée fondée sur la perte de synchronisation

La méthode décrite ici utilise une procédure simplifiée permettant d'identifier un éventuel dépassement des limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles. Cette méthode permet à elle seule de révéler un éventuel dépassement des limites opérationnelles lors d'une perte de synchronisation affectant la

---

<sup>1</sup> Est aussi incluse la protection contre la perte de capacité de réseaux du SFS OSG utilisant un codage adaptatif.

porteuse OSG active. Il peut être nécessaire de recourir à des procédures de mesure plus complètes pour déterminer avec précision les niveaux d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  générés par le système non OSG au niveau de l'antenne de la station terrienne OSG en service.

Les étapes suivantes permettent de déterminer si les limites opérationnelles ont été dépassées par un système non OSG.

*Etape 1:* Noter aussi précisément que possible la date et le temps universel coordonné (UTC) ainsi que la durée de la perte de synchronisation par ciel clair et dans des conditions de fonctionnement nominales (voir la Note 1) (pas d'interruption due à l'activité solaire, pas de commutation, pas de panne d'équipement, etc.).

*Etape 2:* A partir des éphémérides (voir la Note 2) des systèmes à satellites non OSG et OSG, corrélérer la date et l'heure de la perte de synchronisation avec la présence d'un satellite non OSG au voisinage ou à l'intérieur du lobe principal de l'antenne de la station terrienne du système OSG.

*Etape 3:* Contrôler le rapport  $C/N$  de la porteuse OSG dans des conditions de ciel clair et vérifier le seuil du  $C/N$  pour lequel le démodulateur subit une perte de synchronisation (voir la Note 3), afin de s'assurer que la station terrienne n'a pas eu de problèmes techniques.

*Etape 4:* Calculer l' $\text{epfd}_{\downarrow}$  reçue par l'antenne pendant la perte de synchronisation visée à l'Etape 1 en utilisant le bilan de liaison de la porteuse OSG, le seuil de perte de synchronisation  $C/N$  du démodulateur du récepteur et le rapport  $G/T$  de la station terrienne.

*Etape 5:* Déterminer les instants de passage des satellites non OSG subséquents et revenir à l'Etape 1 jusqu'à ce que la corrélation entre un passage de satellite non OSG à proximité ou à l'intérieur du faisceau principal de la station terrienne et une perte de synchronisation, soit établie.

*Etape 6:* Si l'on constate une corrélation entre le passage d'un satellite non OSG et la perte de synchronisation et si le calcul d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  fait à l'Etape 4 montre un dépassement probable par le système non OSG de la limite d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  opérationnelle, l'opérateur du système OSG peut décider d'utiliser une méthode plus complète afin de déterminer avec plus de précision les niveaux d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  produits par le système non OSG au niveau de sa station terrienne en service. L'opérateur du système OSG peut également décider d'informer l'opérateur du système non OSG que son système est à l'origine d'une dégradation de fonctionnement de la station OSG.

Cette méthode contient des incertitudes intrinsèques qui n'existent pas dans les autres méthodes, à savoir l'incertitude sur la valeur du rapport  $C/(N+I)$  qui correspond à la perte, par le démodulateur, de la synchronisation pour un débit binaire, un type de modulation et une correction d'erreur directe (CED) donnés, l'incertitude sur la valeur du rapport  $C/N$  pendant un alignement, et la variation du seuil  $C/N$ , pour lequel la perte de synchronisation se produit, avec la durée du pic de brouillage.

Toutefois, lorsqu'une perte de synchronisation est enregistrée et corrélée avec des éphémérides, on peut supposer qu'il y a eu alignement.

NOTE 1 – Il sera très important de noter les conditions météorologiques qui prévalaient sur le site de la station terrienne OSG.

NOTE 2 – On suppose que les éphémérides du système non OSG sont disponibles.

NOTE 3 – On peut pour cela lire la valeur du rapport  $E_b/N_0$  sur l'afficheur du démodulateur.

### **3 Méthode 2: technique de mesure de l' $\text{epfd}_{\downarrow}$ faisant appel à une station terrienne de référence étalonnée**

#### **3.1 Principe de mesure**

Pour pouvoir mesurer l' $\text{epfd}_{\downarrow}$  au niveau d'une station terrienne, il faut que la chaîne de réception de la station terrienne ait été étalonnée afin de définir un facteur de conversion des mesures de puissance réalisées en un point RF ou FI de la chaîne de réception en une valeur d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  reçue par l'antenne de réception. La puissance est mesurée en termes absolus ou bien en termes relatifs par

rapport à un niveau de référence connu. La deuxième approche est utilisée dans les méthodes décrites dans le § 3 en recourant à une station terrienne de référence correctement étalonnée. Ainsi, il n'est pas nécessaire de connaître avec précision le gain d'antenne et celui de la chaîne de réception de la station terrienne considérée.

L'approche classique pour le monitoring d'un système à satellites fait intervenir une mesure de puissance au moyen d'un puissance-mètre, d'un analyseur de spectre ou d'un processeur numérique de signal (DSP, *digital signal processing*). Les mesures se décomposent en quatre étapes:

- étalonnage du gain sur le trajet de réception du signal;
- mesure du brouillage plus bruit du système non OSG;
- mesure du niveau de puissance pour la détermination du niveau de bruit de la station terrienne;
- mesure de l'évanouissement en utilisant une balise du satellite OSG ou un canal de télémesure.

Plusieurs de ces mesures doivent être faites en succession rapide, avant que les conditions environnementales ne se modifient. Le § 3 décrit la méthode pratique recommandée qui fait appel à une station terrienne de référence correctement étalonnée.

Cette procédure de mesure fait intervenir une station terrienne du SFS OSG correctement étalonnée qui, simultanément avec la station terrienne OSG affectée, permet de mesurer avec précision la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de la porteuse OSG et/ou d'un signal de balise OSG. La plupart des opérateurs de satellites OSG du SFS disposent de station terrienne CSM qui mesure la p.i.r.e. de chaque porteuse active pour vérifier que le répéteur du satellite fonctionne bien avec les reculs de puissance en entrée et en sortie prévus. L'étalonnage précis de la p.i.r.e. de crête de la porteuse utile du satellite, permet de calculer la p.i.r.e. dans la direction de la station terrienne OSG brouillée. Cette procédure tire parti des mesures précises de p.i.r.e. faites par la station CSM par étalonnage de la p.i.r.e. de la porteuse du SFS OSG brouillée ou d'une balise du satellite OSG. La balise du satellite OSG peut être un signal généré sur le satellite ou une porteuse non modulée insérée entre deux porteuses par une station terrienne assurant des liaisons montantes. Si l'on ne dispose pas d'une station terrienne de référence, on peut intégrer dans la station terrienne affectée un équipement permettant d'étalonner avec précision le gain sur son trajet de réception du signal.

Cette procédure peut être mise en oeuvre de la façon suivante:

*Etape 1:* Tout d'abord, on observe le niveau de la porteuse OSG ou du signal de balise puis on calcule le rapport porteuse à bruit,  $C_{OSG}/N$ , à partir de la mesure du rapport  $(C_{OSG} + N)/N$  réalisée au moyen d'un dispositif de mesure de puissance approprié (voir l'équation (1)). Cette mesure peut être faite automatiquement et de préférence peu avant et immédiatement après les mesures réalisées sur une salve de brouillage non OSG. Ce niveau est lié à la limite de puissance surfacique parvenant à l'antenne et rayonnée par le satellite OSG, et qui peut être facilement calculée (voir l'équation (2)).

La relation mathématique entre le rapport brouillage plus bruit à bruit  $(I_{non\ OSG} + N)/N$  (dB) et le rapport brouillage à bruit  $I_{non\ OSG}/N$  (dB) est donné par l'équation (1) ci-dessous:

$$\frac{I_{non\ OSG}}{N} = 10 \log \left( 10^{0,1 \left( \frac{I_{non\ OSG} + N}{N} \right)} - 1 \right) \quad \text{dB}$$

$$\frac{I_{non\ OSG} + N}{N} = 10 \log \left( 10^{0,1 \left( \frac{I_{non\ OSG}}{N} \right)} + 1 \right) \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$pfd_{OSG} = E_s - (L_s + L_{abs}) \quad \text{dB(W/m}^2\text{)} \quad (2)$$

dans laquelle:

- $pdf_{OSG}$ : puissance surfacique du signal OSG reçu par l'antenne
- $E_S$ : p.i.r.e. du satellite OSG dans la direction de l'antenne réceptrice de mesure (dBW)
- $L_{abs}$ : absorption par les gaz de l'atmosphère (dB)
- $L_S$ : affaiblissement géométrique, qui est donné par l'équation:

$$L_S = 10 \log(4\pi d^2) \quad \text{dB(m}^2\text{)}$$

dans laquelle  $d$  est la distance entre l'antenne de mesure et le satellite OSG (m).

*Etape 2:* On mesure ensuite le niveau de bruit crête du brouillage non OSG auquel on soustrait le bruit de fond du satellite OSG et les autres contributions au bruit. Le niveau de bruit dû au brouillage non OSG peut alors être rapporté au niveau mesuré de la porteuse de satellite OSG ou de la balise et, comme les gains et les affaiblissements dans toute la chaîne de réception sont les mêmes pour les deux mesures réalisées à des instants et des fréquences suffisamment proches les uns des autres, le niveau de l' $epfd_{\downarrow}$  non OSG peut être calculé de manière fiable. L'équation (3) ci-dessous permet de calculer l' $epfd_{\downarrow}$  non OSG à partir des mesures du rapport  $(I_{non\ OSG} + N)/N$  (dB). Ce processus peut être automatisé entièrement, il s'agit là d'une condition essentielle pour l'utilisation d'une station automatisée ou la réalisation de plusieurs mesures.

$$epfd_{non\ OSG} = pdf_{OSG} + \left( \frac{I_{non\ OSG}}{N} - \frac{C_{OSG}}{N} \right) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 40\ \text{kHz))} \quad (3)$$

Une configuration de mesure type correspondant à cette technique de mesure est illustrée à la Fig. 1.

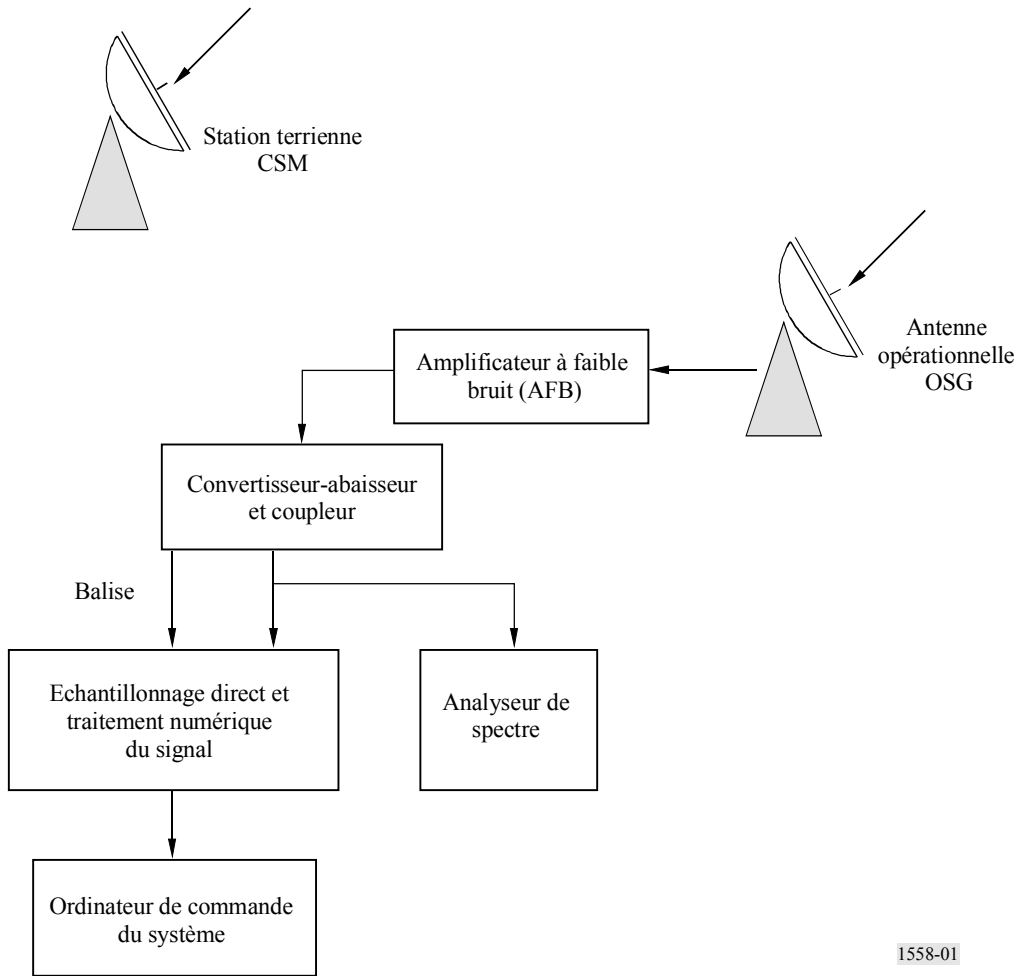
### 3.2 Mesure de la puissance bruit + brouillage

Comme indiqué précédemment, lorsqu'on utilise une station terrienne de référence CSM, cette procédure ne nécessite pas la mesure absolue de la puissance de la porteuse mais uniquement la mesure précise du rapport  $(C + N)/N$ .

Dans cette méthode, on suppose que le niveau du brouillage est mesuré dans les bandes de fréquence comprises entre les porteuses adjacentes OSG dans lesquelles on observe des pertes de synchronisation. Comme le signal OSG ne peut pas être supprimé, la meilleure possibilité de mesure après celle à la fréquence de la porteuse affectée est celle qui porte sur les bandes situées entre les porteuses. Parfois, il ne sera peut-être pas possible de faire des mesures entre les porteuses, et il conviendra alors d'utiliser les porteuses immédiatement les plus proches. Certaines imprécisions dues à la similitude de fréquence devront alors être prises en considération.

Dans l'approche décrite dans le § 3, le niveau d' $epfd_{\downarrow}$  qu'il est possible de mesurer est limité car on suppose qu'il s'agit d'un brouillage numérique à large bande avec une densité spectrale de puissance uniforme. Pour pouvoir mesurer le brouillage avec une meilleure marge au-dessus du seuil de bruit et donc avec une meilleure précision, il faut que le satellite non OSG soit équipé d'une balise en liaison descendante. Cette balise devra être à bande étroite et sa densité spectrale de puissance devra être élevée et liée par un facteur constant à la puissance d'une porteuse acheminant la charge maximale. Le compromis entre les avantages associés à une plus grande facilité de mesure et à une plus grande précision, et ceux associés à une plus grande complexité de conception du satellite non OSG, n'a pas encore fait l'objet d'études. A cette fin, les exploitants de systèmes OSG devraient libérer un intervalle de 40 kHz pour la bande 10-11 GHz, et 40 kHz ou 1 MHz pour la bande des 20 GHz et l'opérateur du système non OSG devrait établir son plan de fréquence global de manière à insérer un signal de balise dans chaque faisceau assurant des liaisons descendantes de chaque satellite.

FIGURE 1  
Configuration type de mesure

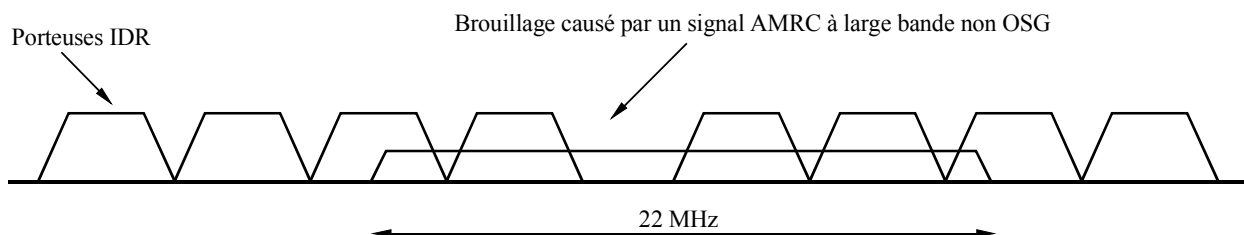


1558-01

Une configuration type de mesure est représentée à la Fig. 1. On suppose que le signal non OSG brouilleur est à large bande et recouvre plusieurs porteuses du SFS non OSG, comme le montre la Fig. 2. Les mesures de puissance dues de la porteuse + bruit ( $C + N$ ) et les mesures de niveau de bruit seraient effectuées dans une largeur de bande de 40 kHz immédiatement avant et immédiatement après l'apparition du brouillage. Ces mesures de puissance pourraient être réalisées au moyen d'un analyseur de spectre analogique de haute qualité ou d'un analyseur vectoriel/de spectre plus perfectionné disposant d'un système d'échantillonnage numérique (DSS, *digital sampling system*) comme représenté à la Fig. 1.

FIGURE 2

Plan type de fréquence d'un répéteur en bande des 14/11 GHz chargé par des porteuses OSG à 2 Mbit/s et brouillage causé par un signal d'accès multiple par répartition en code (AMRC) à large bande non OSG



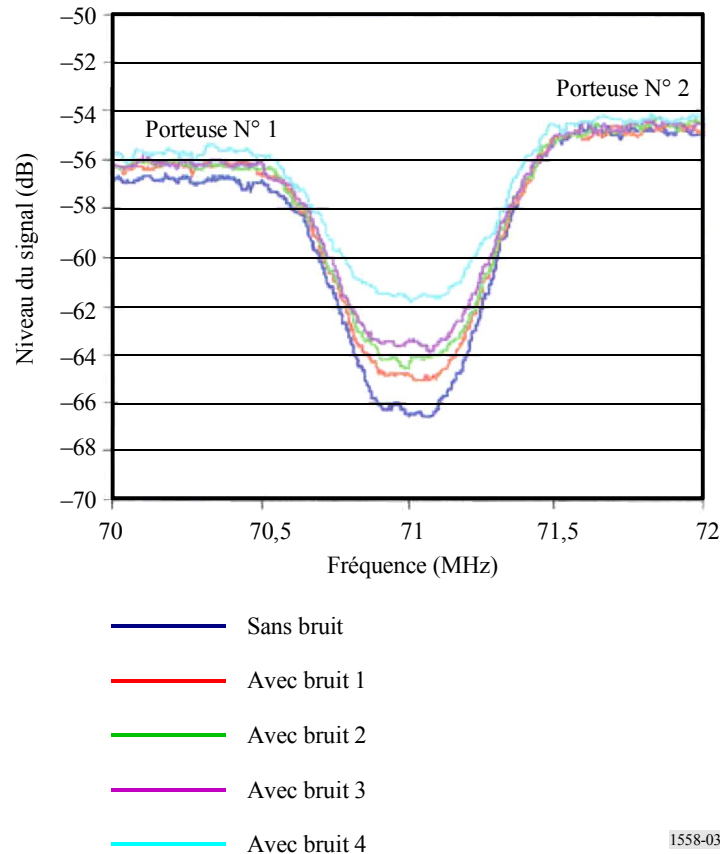
IDR: débit intermédiaire (*intermediate data rate*)

1558-02

La Fig. 3 représente le spectre en puissance de deux porteuses numériques à 2 Mbit/s mesuré avec un DSS. Le spectre s'étale sur 2 MHz et a été mesuré entre deux porteuses numériques adjacentes de 2 MHz chacune. La bande de garde entre les deux porteuses est visible et cette partie du spectre représente le niveau du seuil de bruit du signal reçu. Cette Figure montre qu'une bonne évaluation de la puissance du signal et du seuil de bruit dans une largeur de bande de 40 kHz peut être mesurée en un temps très bref; ainsi par exemple, 64 ms suffisent pour effectuer la mesure avec une antenne de 10 m, présentant une ouverture de faisceau de quelques dixièmes de degré.

FIGURE 3

Mesure au moyen d'un DSS avec brouillage par bruit externe



La Fig. 3 représente également l'augmentation du niveau de la densité de puissance entre les porteuses étant donné que le brouillage s'ajoute au bruit du récepteur. Cette mesure illustre la façon dont les signaux de brouillage de faible niveau dans une plage de fréquence inoccupée d'un répéteur de satellite sont utilisés pour mesurer le brouillage. Les valeurs du rapport  $I/N$  pour les quatre cas de bruit sont les suivantes:  $-3,9$ ;  $-1,6$ ;  $0,0$  et  $2,8$  dB.

### 3.3 Ephémérides des satellites non OSG et OSG

Un facteur important de cette procédure de mesure est la détermination des événements de brouillage non OSG prévus. Il est indispensable de disposer des données d'éphémérides publiques les plus récentes pour pouvoir effectuer des mesures d'epfd<sub>r</sub> précises pour tous les pics de niveau attendus étant donné que les niveaux du bruit et des signaux doivent être observés immédiatement avant et après l'événement de brouillage. Un étalonnage de la chaîne de réception de la station terrienne OSG affectée par la station terrienne CSM devra être effectué très peu avant l'apparition du pic de brouillage. Etant donné que la capacité de la mémoire de la plupart des équipements de test est limitée, le choix de la fenêtre de mesure revêt un aspect déterminant pour garantir que la durée d'enregistrement des mesures couvrira bien le brouillage.



On trouvera de plus amples informations sur la procédure permettant d'établir une corrélation entre le faisceau principal OSG et un phénomène d'alignement ou de quasi alignement avec un satellite non OSG dans la Recommandation UIT-R S.1527.

### 3.4 Mesure au moyen de la balise du satellite OSG

Lors des mesures d' $epfd_{\downarrow}$  non OSG, des évanouissements ou des variations du niveau de la porteuse et du bruit peuvent se produire. Pour garantir que les mesures d' $epfd_{\downarrow}$  sont effectuées dans des conditions de ciel clair, la station terrienne affectée et la station terrienne CSM effectueront un monitoring continu de la balise du satellite OSG. S'il y a plusieurs balises, on utilisera la balise dont la fréquence est la plus proche de la fréquence brouilleuse. Des variations du niveau du signal émis par la balise peuvent traduire des effets de la pluie ou des effets atmosphériques, des irrégularités de poursuite du satellite ou de la station terrienne. Selon la cause des variations et leur influence sur les mesures de brouillage, il sera peut-être nécessaire de répéter les mesures.

### 3.5 Effet de la taille de l'antenne sur les possibilités de mesure des niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ opérationnels

Les mesures de la puissance de brouillage en termes d' $epfd_{\downarrow}$  reçue par l'antenne seront d'autant plus difficiles à effectuer que l'antenne de la station terrienne OSG sera petite. En effet, avec de petites antennes, les niveaux de densité de puissance des signaux brouilleurs reçus provenant des systèmes non OSG du SFS qui ne dépassent pas les limites opérationnelles stipulées dans les Tableaux de l'Article 22 du RR seront probablement en dessous du seuil de bruit thermique.

Le Tableau 1 montre les rapports  $I/N$  correspondant aux limites d' $epfd_{\downarrow}$  opérationnelles pour une seule source de brouillage spécifiées dans l'Article 22 du RR.

TABLEAU 1

**Limites opérationnelles exprimées en termes de rapport  $I/N$  susceptibles d'être mesurées pendant un événement d'alignement<sup>(1)</sup>**

Bande de fréquences (GHz)	Niveau d' $epfd_{\downarrow}$ (à ne pas dépasser pendant 100% du temps)	Diamètre de l'antenne de la station terrienne OSG (m) ou gain d'antenne (dBi)	Rapport densité de puissance brouilleuse/densité de puissance de bruit <sup>(2)</sup> ( $I/N$ ) (dB)
10,7-12,75	-163 dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	3 m	4,4
10,7-12,75	-166 dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	6 m	7,5
10,7-12,75	-167,5 dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	9 m	9,5
10,7-12,75	-169,5 dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	≥ 18 m	≥ 13,5
17,8-18,6	-150 dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	≥ 49 dBi	≥ -3
19,7-20,2	-143 dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	≥ 49 dBi	≥ 3,2
19,7-20,2	-143 dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	43 dBi	-2,8

(1) Les limites du Tableau 1 s'appliquent aux satellites OSG ayant une inclinaison orbitale ≤ 2,5°.

(2) Le rapport  $I/N$  réel sera inférieur en raison du bruit additionnel interne du système sur la liaison descendante du satellite OSG utile et des satellites non OSG brouilleurs qui s'ajoute au bruit thermique de l'antenne de référence et de son récepteur. Dans tous les cas, on a supposé une modulation numérique et une largeur de bande occupée au moins égale à la largeur de bande de référence du brouillage non OSG. Dans tous les cas, on a également supposé que le rendement de l'antenne de réception était de 65% et que la température de bruit du système de réception était de 150 K entre 10,7 et 12,75 GHz et de 250 K entre 17,8 et 20,2 GHz.

### 3.6 Exemple pratique d'application de la procédure de mesure décrite dans le § 3

#### 3.6.1 Description de la configuration de mesure et des essais

Afin de valider la méthode décrite dans le § 3, une expérience d'une semaine a été organisée, pour cela on a utilisé un satellite géostationnaire, des porteuses OSG types et un signal brouilleur large bande dont l'amplitude et la durée étaient commandées par ordinateur.

L'expérience a été effectuée dans la bande des 14/11 GHz à la station terrienne de Goonhilly située au sud-ouest du Royaume-Uni avec un satellite géostationnaire placé à 342 °E. La station terrienne CSM placée près du centre du faisceau était située à Fucino en Italie.

Deux porteuses standard INTELSAT IDR (modulation par quadrature de phase (MDP-4) avec un taux de CED 3/4) étaient transmises via une antenne de 19 m et reçues sur une antenne de 5,5 m. Pour produire un signal ayant un profil de puissance analogue au signal brouilleur non OSG pendant un passage avec alignement, on a utilisé un modulateur par déplacement de phase dont le signal de sortie était dirigé via un atténuateur à diodes PIN commandé par ordinateur, vers une antenne de 3,7 m assurant les liaisons montantes. La forme des crêtes ainsi générées était commandée par l'ordinateur afin que leur profil amplitude/temps soit identique à celui du signal brouilleur produit par un satellite non OSG à l'altitude de 1470 km avec une inclinaison de 53° lors du passage au centre du faisceau d'une antenne de station terrienne de 5,5 m située à Goonhilly et exploitée avec un satellite OSG placé à 342 °E. Pour démontrer la faisabilité des mesures dans le cas des pics les plus étroits, quelques mesures ont également été effectuées avec un profil amplitude/temps analogue à celui d'un brouillage causé par un satellite non OSG produit pendant un passage dans le faisceau d'une antenne de 19 m située à l'Equateur et fonctionnant avec un angle d'élévation de 90°. Le signal brouilleur était modulé par un train binaire pseudo-aléatoire de 8 Mbit/s avec une largeur de bande de bruit de 5,7 MHz; il était émis vers le même répéteur que celui utilisé par les deux porteuses IDR, à une fréquence centrale située au milieu de l'intervalle séparant ces porteuses. Les pics de brouillage étaient générés selon les besoins, à raison d'un à la fois, et en dehors de ces pics, le niveau de brouillage était d'au moins 25 dB en dessous du maximum.

Des porteuses IDR de deux types différents ont été utilisées pendant les expériences, à savoir des porteuses à 64 kbit/s et des porteuses à 2048 kbit/s. Le spectre du signal brouilleur recouvrait complètement le spectre des deux porteuses IDR dans les deux cas. Cependant, l'intervalle entre les deux extrémités des largeurs de bande de bruit et celles des largeurs de bande attribuées aux porteuses IDR était de 24,8 kHz pour les porteuses à 64 kbit/s et de 637,2 kHz pour les porteuses à 2048 kbit/s. On disposait par conséquent d'une largeur de bande adéquate pour pouvoir mesurer la densité de la puissance du signal brouilleur reçue dans la bande de garde interporteuses, à condition de mesurer aussi la densité de bruit du système dans la bande de garde afin que les contributions des extrémités du spectre des porteuses IDR soient incluses. Des exemples de spectre de porteuses IDR sont représentés à la Fig. 4 et le signal brouilleur à la Fig. 5.

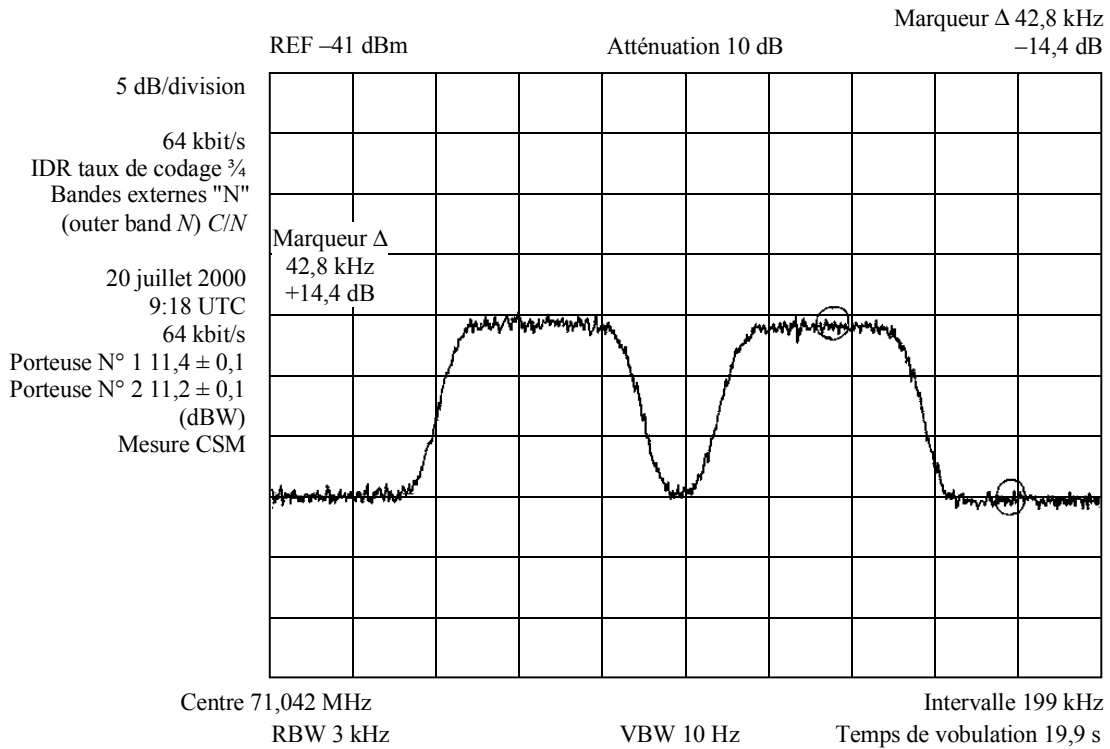
Les calculs ont été effectués de manière à ce que, pour le recul de puissance du répéteur considéré, la non-linéarité ait un effet négligeable sur la précision des mesures.

Afin de confirmer la faisabilité des mesures des pics d'epfd<sub>↓</sub> dans le cas de très grandes antennes, certains essais ont été répétés en utilisant l'antenne de 19 m pour recevoir les porteuses et le signal brouilleur.

Les principales mesures ont été effectuées avec deux porteuses IDR présentant les caractéristiques d'émission et de réception nominales INTELSAT avec des antennes de stations terriennes représentatives. Toutefois, étant donné que cette façon de procéder conduisait à des rapports  $C/N$  par ciel clair à l'entrée du démodulateur de l'ordre de 14-17 dB, quelques mesures ont été répétées avec des p.i.r.e. de porteuse IDR réduites afin d'obtenir des rapports  $C/N$  d'environ 10 dB, pour qu'elles soient représentatives de liaisons utilisant des stations terriennes placées dans des zones sèches et fonctionnant avec de faibles marges pour la pluie et, par conséquent, dans des conditions plus proches du seuil de perte de synchronisation.

FIGURE 4

Trace à l'analyseur de spectre de deux porteuses à 64 kbit/s

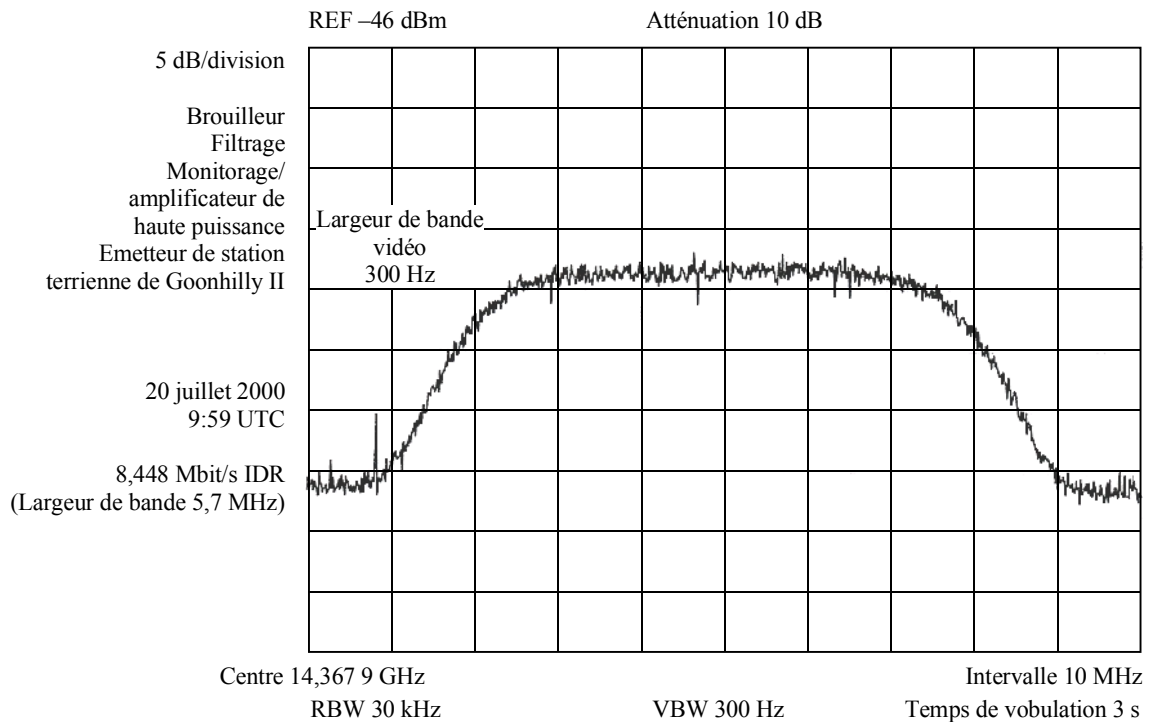


RBW: Largeur de bande de résolution  
 REF: Niveau de puissance de référence  
 VBW: Largeur de bande vidéo

1558-04

FIGURE 5

Trace à l'analyseur de spectre d'un signal brouilleur à large bande



1558-05

Chaque mesure principale a été effectuée pour différents niveaux de pics de brouillage. Le premier niveau était proche de la limite d'epfd<sub>↓</sub> opérationnelle, et les deux autres respectivement supérieurs de 3 dB et 6 dB au premier niveau. Ensuite, le niveau à partir duquel le pic de brouillage provoquait une perte de synchronisation du démodulateur a été déterminé empiriquement. Dans quelques cas, le niveau au-dessous duquel le masquage par le bruit du système rendait des mesures suffisamment précises irréalisables a été déterminé.

Pour chaque série de mesures, le niveau de réception FI de la station de 5,5 m (et de la station de 19 m) a été réétalonné en utilisant la station CSM, de manière à garantir la meilleure précision pratique.

Deux variantes de la Méthode 2 ont été testées, chacune des principales mesures étant d'abord effectuée au moyen de la Méthode 2A, puis répétée en utilisant la Méthode 2B.

*Méthode 2A:* Avant chaque série de mesures, le niveau FI reçu de l'une des porteuses IDR a été étalonné au moyen d'une station CSM. Le niveau de la porteuse a été mesuré à la station CSM convenablement étalonnée et ainsi la p.i.r.e. du satellite en direction de cette station a pu être déterminée. Sachant que le gain de l'antenne du satellite en direction de la station Goonhilly est inférieur de 5,5 dB au gain en direction de la station CSM, et connaissant la longueur de trajet satellite à Goonhilly, le centre de contrôle de la station CSM a pu déterminer la puissance surfacique de la porteuse à l'antenne de Goonhilly concernée. Le niveau correspondant de réception FI à Goonhilly a été relevé et utilisé comme niveau de référence pour les mesures faites à Goonhilly des niveaux des deux porteuses,  $C$ , du niveau de bruit du système,  $N$ , et du niveau du bruit du système plus brouillage maximal ( $N + I$ ) lors de la réception d'un pic de brouillage,  $I$ . Ces mesures ont été réalisées manuellement à l'écran d'un analyseur de spectre convenablement étalonné, puis le niveau d'epfd<sub>↓</sub> a ensuite été calculé à partir des résultats obtenus.

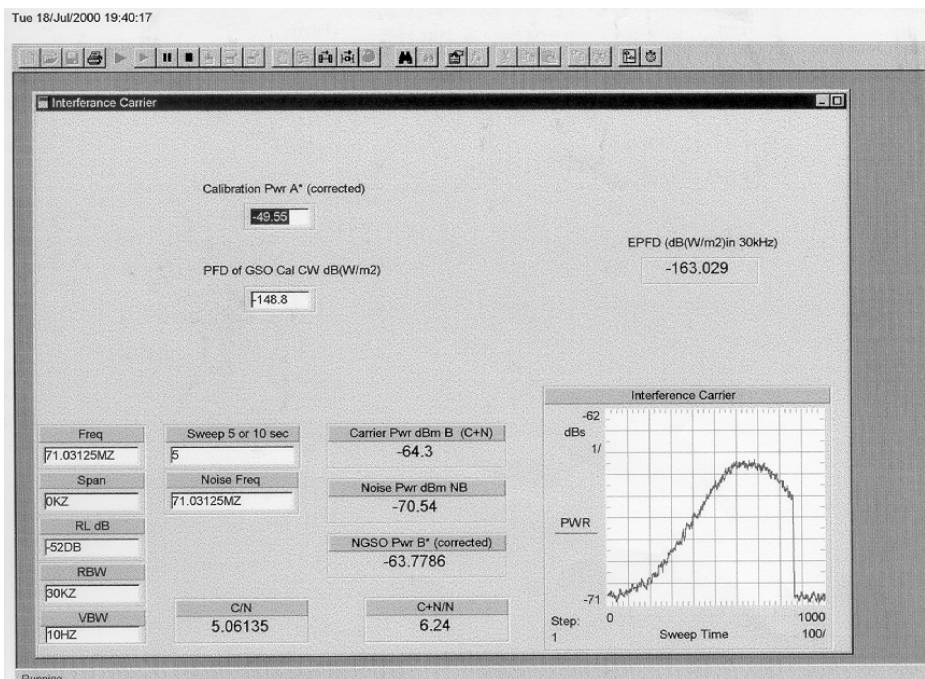
*Méthode 2B:* Avant chaque série de mesures, une porteuse pilote non modulée était émise par une station de 3,7 m dans la bande de garde des deux porteuses IDR et reçue par la station de 5,5 m et la station CSM. On a pu ainsi étalonner les niveaux de réception FI de la station de Goonhilly de la même façon que dans la Méthode 2A, mais en utilisant le niveau de réception de la porteuse pilote comme niveau de référence. Les valeurs de  $N$  et  $N + I$  ont été mesurées avec un dispositif automatique. La méthode a été automatisée en utilisant un équipement déjà présent dans les deux stations et un analyseur de spectre commandé par logiciel dans un environnement VEE HP. Le processus automatisé utilise les fronts de montée et de descente de l'impulsion brouilleuse à la sortie vidéo de l'analyseur de spectre pour déclencher l'enregistrement du spectre par un ordinateur qui calcule ensuite l'epfd<sub>↓</sub> de crête à partir des niveaux de  $N$  et  $N + I$ . Il s'agit là d'une caractéristique importante étant donné qu'un système automatique sera indispensable pour observer les rares pics de brouillages. Un exemple de résultat est donné à la Fig. 6.

L'impulsion brouilleuse enregistrée dans cet exemple dure environ 6 s ce qui respecte le profil d'amplitude/temps du brouillage dû à un satellite non OSG évoluant à 1 470 km d'altitude avec une inclinaison de 53° pendant son passage par le centre du faisceau d'une antenne de station terrestre de 5,5 m située à Goonhilly et exploitée avec un satellite OSG placé à 342° E. Il convient de noter qu'après l'identification et l'enregistrement de la crête de l'impulsion et du niveau du seuil de bruit, les points de données en dehors de cette impulsion doivent être éliminés – ce que montre clairement l'enregistrement graphique de l'impulsion brouilleuse.

Étant donné que les Méthodes 2A et 2B permettent d'obtenir le niveau de brouillage maximal,  $I$ , et par conséquent l'epfd<sub>↓</sub> de crête à partir d'une mesure de  $N$  immédiatement suivie par une mesure de  $N + I$ , et que les deux quantités suivent le même trajet depuis le satellite jusqu'au point de mesure FI, la précision de mesure est égale à la précision de l'étalonnage le plus récent. La seule inconnue était l'affaiblissement atmosphérique précis au moment de la mesure et, pour s'en assurer, l'on procédait, à Goonhilly et à la station CSM, plusieurs fois par jour à des mesures avec l'une des balises de télémétrie du satellite dans la bande de 11 GHz. En réalité, à Goonhilly et à Fucino pendant la semaine de mesures régnaient des conditions de ciel clair, et les mesures faites sur la balise indiquaient une très faible variation de l'affaiblissement atmosphérique.

FIGURE 6

Exemple de résultat obtenu sur ordinateur à partir d'une mesure automatisée d' $epfd_{\downarrow}$  non OSG au moyen de la Méthode 2B



1558-06

### 3.6.2 Résultats et discussion

Les résultats pour les diverses combinaisons de taille d'antenne, de paramètres de porteuse et de méthode de mesure sont présentés sous forme résumée dans le Tableau 2.

Cet exercice a montré que, dans la pratique, il était possible de mesurer des pics de brouillage de courte durée, peu fréquents produits par une constellation de satellites non OSG affectant une station terrienne d'un réseau OSG, lorsque les niveaux de ces pics étaient du même ordre de grandeur que les limites opérationnelles. En outre, ces mesures ont été faites sans interruption de la porteuse affectée, au moyen d'un analyseur de spectre analogue à ceux que l'on peut trouver dans de nombreuses stations terriennes en exploitation.

Dans le Tableau 2, la cinquième colonne indique le nombre de mesures d' $epfd_{\downarrow}$  effectuées à la station de Goonhilly pour chaque situation particulière et la moyenne de ces mesures se trouve consignée dans la sixième colonne. La dispersion des résultats par rapport à cette moyenne est indiquée dans l'avant-dernière colonne. On peut formuler les observations suivantes:

- Dans les cas où une comparaison directe peut être faite entre une même mesure réalisée avec les Méthodes 2A et 2B, les différences de moyenne d' $epfd_{\downarrow}$  sont faibles (entre 0,07 et 0,38 dB). Des différences allant jusqu'à 0,6 dB ont été constatées pour certains essais, on estime qu'ils sont dus au fait que dans la méthode manuelle on a tendance à prendre la moyenne d'une trace d'analyseur de spectre bruité lorsque dans la méthode automatisée, on a tendance à réagir aux crêtes locales sur la courbe. On considère que les résultats des deux méthodes sont suffisamment proches les uns des autres pour que l'une corrobore l'autre.

TABLEAU 2

Tableau récapitulatif des résultats

Diamètre de l'antenne de réception	Combinaison de porteuse OSG	C/N de la porteuse (dB)	Méthode	Nombre d'essais	epfd <sub>↓</sub> moyenne mesurée (dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz)))	Dispersion (dB)	Réglage de l'analyseur de spectre
5,5 m	2 × 2 Mbit/s	17	2A	7	-164,92	±0,59	VBW = 10 Hz Intervalle = 0 RBW = 30 kHz
			2B	11	-164,85	±0,26	
			2A	6	-158,68	±0,2	
			2B	3	-158,80	±0,16	
			2A	6	-161,47	±0,28	
		10,3	2A	5	-164,82	±0,35	
				6	-161,54	±0,18	
				6	-158,52	±0,07	
		12	2B	1	-162,44	-	
				1	-165,77	-	
	1			-166,4	-		
	1			-166,82	-		
	2 × 64 kbit/s	17	2A	5	-165,11	±0,4	VBW = 1 Hz Intervalle = 0 RBW = 3 kHz
			2B	8	-164,99	±0,39	
			2A	6	-162,11	±0,42	
			2B	5	-161,81	±0,15	
2A			6	-159,13	±0,24		
2B			4	-158,93	±0,09		
2A			4	-161,59 <sup>(1)</sup>	±0,11		
2B			4	-161,21 <sup>(1)</sup>	±0,19		
19 m	2 × 2 Mbit/s	10,3	2A	5	-168,62	±0,2	VBW = 10 Hz Intervalle = 0 RBW = 30 kHz
				5	-165,67	±0,23	
				5	-162,55	±0,09	
		12	2B	5	-168,46	±0,2	
				5	-165,88	±0,15	
				5	-162,80	±0,1	
	2 × 64 kbit/s	14	2B	3	-167,64	±0,33	VBW = 10 Hz Intervalle = 0 RBW = 30 kHz

<sup>(1)</sup> Niveau d'epfd<sub>↓</sub> auquel se produit la perte de synchronisation.

- La dispersion observée dans les mesures d'epfd<sub>↓</sub> à Goonhilly lors de plusieurs essais varie de ±0,07 dB à ±0,59 dB (moyenne 0,22 dB) pour toutes les combinaisons. Il est possible d'affirmer que la répétabilité à court terme des méthodes est bonne. En outre, une mesure effectuée selon la Méthode 2B pour deux porteuses à 2 Mbit/s avec un rapport C/N = 17 dB a été refaite quatre jours après pour la même p.i.r.e brouilleuse mesurée par la station CSM, on a constaté dans les résultats de mesure d'epfd<sub>↓</sub> à Goonhilly une différence comprise seulement entre -165,08 dB(W/(m<sup>2</sup> · 40 kHz)) ± 0,22 et -164,84 dB(W/(m<sup>2</sup> · 40 kHz)) ± 0,25. Par conséquent la répétabilité à moyen terme s'avérait également bonne.

- Un facteur qui peut avoir des conséquences sur la répétabilité à long terme des résultats est l'effet, sur l'étalonnage de la station CSM, des modifications du profil de gain du faisceau ponctuel du satellite. Pour un satellite INTELSAT, les contours de gains sont mesurés de manière précise et complète peu après son lancement, et des vérifications ponctuelles périodiques sont faites en différents lieux pendant la durée de vie opérationnelle du satellite. Néanmoins, les différences entre le gain dans la direction de la station CSM et le gain dans la direction du point de mesure peut éventuellement évoluer à long terme et il convient d'appliquer une tolérance sur le bilan d'erreur pour les mesures d'epfd<sub>↓</sub>.

D'autres points d'importance sont apparus pendant l'expérience:

- Les mesures ont été effectuées via l'antenne recevant la porteuse affectée – c'est-à-dire une antenne opérationnelle. Une autre possibilité aurait été d'utiliser une antenne distincte transportable bien étalonnée et pointée vers le satellite OSG concerné. Pour des raisons économiques et pratiques, elle aurait été équipée d'une antenne relativement petite de sorte que dans la plupart des cas l'ouverture du faisceau aurait été plus grande que celle de l'antenne qui reçoit le brouillage non OSG. De ce fait, son faisceau aurait été intercepté par un satellite non OSG à des moments où le faisceau de l'antenne opérationnelle n'aurait pas été intercepté. Ce problème et d'autres difficultés liées à l'utilisation d'une antenne distincte sont étudiés dans la Recommandation UIT-R S.1554.
- Afin de minimiser les erreurs de mesure, le centre de contrôle de la station CSM et la station CSM de Fucino ont pris des dispositions particulières en vue de l'opération. On peut concevoir qu'une telle coopération puisse se manifester dans des circonstances opérationnelles pour toutes stations terriennes fonctionnant avec un satellite INTELSAT, et supposer que les autres opérateurs de systèmes OSG disposeront d'un certain type de station CSM. L'auto-étalonnage serait une solution, mais la précision des mesures pourra dans ce cas, être moindre.
- L'avantage d'une configuration de mesure automatisée, telle que celle utilisée dans la Méthode 2B, est qu'il n'est plus nécessaire d'avoir du personnel de garde une fois par semaine ou autre, attendant l'apparition d'un pic de brouillage isolé dont la durée peut être inférieure à la seconde. Des éphémérides récentes des systèmes non OSG du SFS permettraient d'identifier avec une précision suffisante les instants d'alignement, il se peut que les pics de brouillage n'apparaissent pas à chaque alignement. Même avec un équipement de mesure automatisé, si l'on demande l'assistance d'une entité tiers (par exemple un centre de contrôle de la station CSM) il sera nécessaire pour cette entité d'être disponible à un instant suffisamment proche de l'alignement. Mais il n'existe apparemment aucun motif pour lequel l'étalonnage ne devrait pas être fait peu après l'événement, plutôt que peu avant lui, ce qui en principe permettrait à l'entité extérieure d'être alertée par un dispositif de déclenchement qui serait automatiquement activé lorsque l'epfd<sub>↓</sub> mesurée dépasse la limite opérationnelle.
- Cet exercice a montré que des mesures fiables et suffisamment précises de l'epfd<sub>↓</sub> peuvent être effectuées au moyen d'un analyseur de spectre d'un type couramment utilisé dans les stations terriennes, soit manuellement soit automatiquement avec l'aide d'un PC. Toutefois, les réglages de la largeur de bande de résolution, de la largeur de bande vidéo et de la fréquence de balayage de l'analyseur sont déterminants pour les mesures, en particulier lorsque les débits binaires de la porteuse OSG, et par conséquent la largeur de bande de mesure, et/ou la largeur du pic de brouillage sont faibles. Une autre alternative à l'utilisation d'un analyseur de spectre est une approche fondée sur un processeur numérique de signal décrit dans le § 3, qui permettrait de prélever plusieurs échantillons pendant l'impulsion de

brouillage et les stocker avant analyse. La stabilité interne d'un tel dispositif serait probablement meilleure que celle d'un analyseur de spectre et les possibilités d'erreur humaine sur les lectures manuelles seraient réduites. Un inconvénient de cette approche mettant en oeuvre un dispositif de traitement numérique du signal, pourrait être les coûts de développement et les coûts d'acquisition associés.

- Il est tout à fait concevable que des stations terriennes situées dans les zones sèches puissent recevoir plusieurs porteuses fonctionnant avec de faibles marges du rapport  $C/N$  et, par conséquent, avec une possibilité de perte de synchronisation sur plusieurs fréquences attribuées au SFS dans le sens espace vers Terre. Mais, compte tenu des variations de la charge de trafic du système non OSG, la perte de synchronisation peut se produire sur différentes porteuses pour différentes configurations d'alignement. Par conséquent, l'opérateur d'une station terrienne fonctionnant dans ces conditions pourra vouloir faire des mesures d'epfd<sub>↓</sub> sur plusieurs fréquences lors d'une configuration d'alignement. En principe, cela est possible, mais au prix d'une plus grande complexité et de certaines difficultés de réalisation de mesures séquentielles pendant la durée d'une brève impulsion brouilleuse. Dans ces circonstances, il est préférable peut-être d'utiliser un processeur DSP.

### 3.6.3 Erreurs de mesure

Pendant l'expérimentation, les sources d'erreurs possibles suivantes ont été identifiées. Une évaluation de chaque incertitude en termes de contribution possible peut être combinée statistiquement pour obtenir la précision globale de mesure avec un bon niveau de confiance. Les contributions aux erreurs sont examinées de manière plus approfondie dans la Recommandation UIT-R S.1554.

- a) Incertitude affectant la mesure des signaux reçus par la station CSM ( $\pm 0,45$  dB).
- b) Incertitude d'étalonnage au moyen de la station CSM du niveau de réception de la station de Goonhilly: ( $\pm 0,56$  dB).
- c) Incertitude relative à la différence entre le niveau de réception d'un signal à la fréquence de la porteuse affectée et celui à la fréquence centrale d'une bande de garde adjacente (différence probablement négligeable).
- d) Incertitude de mesure du rapport  $(I + N)/N$  au moyen de l'analyseur de spectre: ( $\pm 0,75$  dB).

### 3.7 Précautions de mesure et incertitudes

Il convient de noter que dans le cas d'analyseur de spectre, des largeurs de bande de résolution sont en générale réglables. Il serait préférable de mesurer les densités de puissance en utilisant la même largeur de bande de 40 kHz que celle dans laquelle les niveaux d'epfd<sub>↓</sub> sont spécifiés, mais la largeur de bande de résolution la plus proche disponible sur la plupart des analyseurs de spectre est de 30 kHz. En utilisant la technique de mesure de la densité de puissance et la densité de bruit pour les mesures des niveaux d'epfd<sub>↓</sub>, il peut être nécessaire de choisir une largeur de bande différente de celle qui figure dans les Tableaux de l'Article 22 du RR et de rapporter le niveau mesuré au niveau de conformité exigé. Avec une mesure utilisant un processeur numérique de signal tel que décrit ci-dessous, les mesures de puissance de porteuse et de bruit peuvent directement être calculées sur une largeur de bande de 40 kHz.

Il convient de prendre certaines précautions lorsqu'on mesure le rapport  $(C + N)/N$  sur l'analyseur de spectre afin d'en déduire le rapport  $C/N$ . En effet, on a constaté que selon les largeurs de bande de référence, les largeurs de bande vidéo, les excursions et les durées de balayage choisies, l'analyseur de spectre peut donner différents résultats de mesure du rapport  $(C + N)/N$  dans la bande de garde entre les deux porteuses. Pour toutes les mesures à l'analyseur de spectre, il convient de vérifier que ces réglages ne modifient pas la précision des mesures en raison d'un calcul de moyenne sur une durée ou une largeur de bande trop grandes.



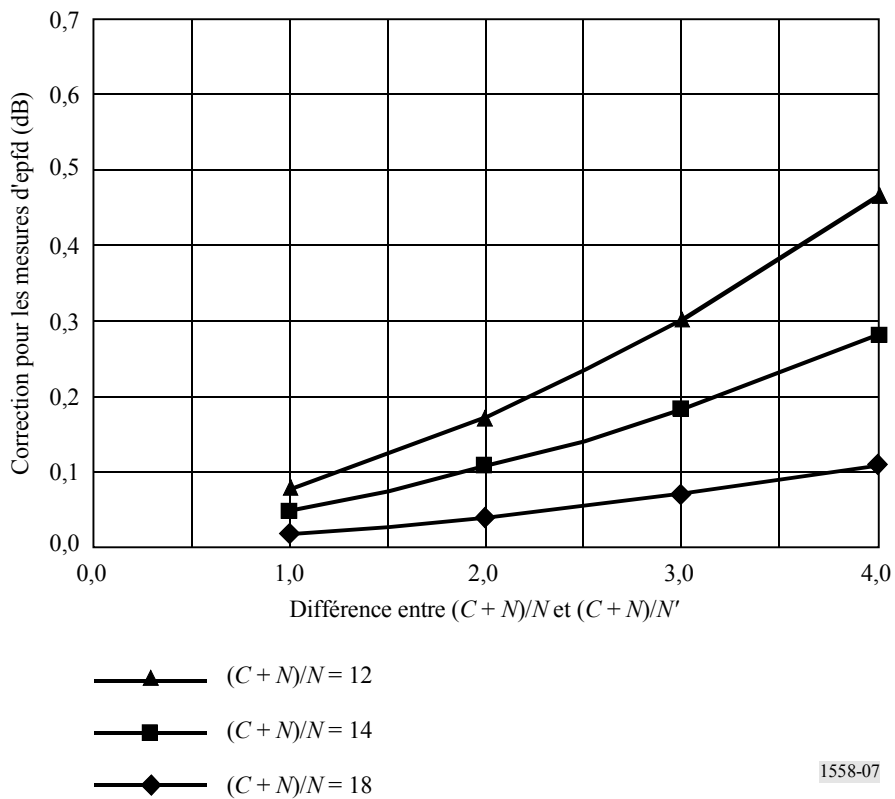
En outre, la bande de garde entre des porteuses n'est pas toujours suffisamment large pour permettre une mesure du bruit réel «sous» la porteuse. Par exemple, dans les mesures décrites au § 3.6, la bande de garde entre deux porteuses de 64 kbit/s est de 24,8 kHz (67,5 – 42,7 kHz) et de 572,5 kHz (2002,5 – 1430 kHz) pour deux porteuses à 2 Mbit/s. Il faut utiliser, pour les deux porteuses à 64 kbit/s, une largeur de bande de 3 kHz et une largeur de bande de 30 kHz pour les deux porteuses à 2 Mbit/s.

Si le répéteur fonctionne à pleine charge, les mesures de bruit seront effectuées à des fréquences adjacentes aux porteuses brouillées. Toutefois, si la bande de garde est trop étroite, le bruit mesuré ne pourra pas être supérieur de 1 à 2 dB au bruit thermique réel,  $N$ , «sous» la porteuse. Si  $N'$  est le niveau de bruit dans la bande de garde, la correction qu'il faudrait apporter à toutes mesures d'epfd<sub>↓</sub> est la différence de niveau de bruit  $N'$  lorsque le rapport  $(C + N)/N'$  n'est pas égal à  $(C + N)/N$ .

La courbe de la Fig. 7 montre le facteur de correction qu'il faut utiliser en fonction de la différence entre  $(C + N)/N'$  et  $(C + N)/N$ .

FIGURE 7

Facteur de correction pour les mesures du rapport  $(C + N)/N$  en tenant compte du bruit dans la bande de garde située entre deux porteuses OSG adjacentes



Comme on peut le constater sur la Fig. 7, la correction pour un rapport  $(C + N)/N$  de 12 dB serait de 0,2-0,3 dB si le rapport  $(C + N)/N'$  était inférieur à 2-3 dB respectivement.

Il est important que le seuil de bruit de l'analyseur de spectre soit aussi faible que possible afin d'éviter toute limitation de dynamique des mesures. En général, pour des mesures de niveau FI précises, le seuil de bruit de l'analyseur de spectre doit être au moins inférieur de 20 dB au seuil de bruit du signal reçu. La linéarité de l'analyseur de spectre sur la plage de mesure devrait être contrôlée pour les réglages spécifiques utilisés pour les mesures du rapport  $(C + N)/N$ . En d'autres termes, la précision de l'analyseur de spectre sur disons 10 dB serait altérée si les amplificateurs de l'analyseur de spectre étaient à la limite de leur plage d'action. Il est également important de prendre en considération, lors des mesures de signaux de pseudo-bruit, les facteurs de correction appropriés pour l'analyseur du spectre.

L'étalonnage requis et les incertitudes associées de cette procédure de mesure sont examinés de manière plus approfondie dans le projet de nouvelle Recommandation UIT-R S.1554.

### 3.8 Conclusions concernant l'application des méthodes décrites dans le § 3

La vérification du dépassement d'une limite opérationnelle au moyen de mesures effectuées sur une station terrienne en service et sans interruption du trafic, est réalisable avec certaines tolérances. De telles mesures peuvent être effectuées en utilisant un équipement de test conventionnel éventuellement automatique.

Si la Méthode 1, suivie de mesures d' $epfd_{\downarrow}$  effectuées au moyen d'une méthode telle que la Méthode 2A ou 2B décrite dans le § 3, est appliquée scrupuleusement, l'erreur quadratique moyenne nette sera probablement de l'ordre de  $\pm 1,0$  dB (voir la Recommandation UIT-R S.1554).

Une constellation de satellites non OSG causant des pics de brouillage au niveau d'une station terrienne d'un réseau OSG peut être directement identifiée en utilisant les éphémérides, permettant de prévoir les instants de passage avec alignement, et un récepteur spécial pour détecter une porteuse de télémessure ou un autre signal continu émis par chaque satellite de la constellation. Toutefois, si l'instant exact de la crête de brouillage est relevé (voir en haut de la Fig. 6), on pourra automatiser la mesure d' $epfd_{\downarrow}$ , évitant ainsi le recours à une antenne ou un récepteur distinct.

Certaines difficultés ont été identifiées lors de cet exercice, à savoir:

- Si l'on utilise un analyseur de spectre comme dispositif de mesure dans une configuration de test automatisée, son réglage peut être critique pour les crêtes d' $epfd_{\downarrow}$  brèves, qui se produisent avec des antennes de grandes stations terriennes. Dans le cas de mesures manuelles, lors de la lecture des résultats sur un analyseur de spectre, des erreurs humaines sont possibles. Un dispositif à traitement numérique du signal spécifique pourra alors être utilisé, ce qui résoudrait les difficultés mais avec un coût plus élevé. Le dispositif de traitement numérique du signal permet la mémorisation des données lorsqu'une analyse plus complète est requise.
- La précision de mesure des crêtes d' $epfd_{\downarrow}$  peut être améliorée si le niveau du signal reçu par la station terrienne affectée peut être étalonné au moyen d'une station CSM située dans le même faisceau du satellite. Toutefois, il se peut que les stations terriennes de certains réseaux n'aient pas accès à une station CSM, en pareil cas, la station terrienne peut être auto-étalonnée ou l'on peut utiliser une petite station transportable spéciale, bien étalonnée et probablement au prix d'une précision moindre et/ou d'un coût plus élevé.
- On a constaté une différence systématique de l'ordre de 0,6 dB entre les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$  obtenus à partir des mesures, faites avec la station CSM, de la p.i.r.e. des liaisons descendantes du signal brouilleur et les mesures du même signal via le système de réception de Goonhilly dont le niveau de réception venait d'être étalonné par la station CSM. On estime que cette différence pourra être éliminée par la suite.

Bien que cet exercice ait été effectué dans la bande des 11 GHz avec des crêtes de brouillage caractéristiques d'une constellation de satellites sur orbite terrestre basse à 1470 km d'altitude, on peut penser que les méthodes de mesure décrites ici seront applicables à des systèmes fonctionnant à 18 ou à 20 GHz, et/ou avec des crêtes de brouillage caractéristiques des systèmes à orbite moyenne. Pour les constellations non OSG évoluant à des altitudes de 700 km fonctionnant dans l'une des bandes, toutefois, la durée de chaque crête d'interférence serait plus courte, et ceci pourrait être à l'origine de difficultés de mesure avec des antennes de station terrienne plus grandes.

## 4 Méthode 3: techniques de corrélation

La procédure de mesure proposée dans le présent paragraphe permet de mesurer le niveau de puissance d'un signal non OSG présent dans une porteuse OSG active lorsque le niveau du signal non OSG est très inférieur à celui de la porteuse OSG active (jusqu'à 20 dB dans l'exemple étudié).

### 4.1 Principe de la méthode

Cette procédure peut être appliquée aux systèmes non OSG qui utilisent la technique d'accès AMRC et qui disposent d'un signal de référence auquel on peut accéder dans ces conditions.

La présente description de ces techniques concerne le cas d'un système AMRC; leur adaptation précise à l'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT), à l'AMRF ou à diverses combinaisons de modes d'accès appelle un complément d'étude.

Le principe de la méthode consiste à corréler une partie du signal qui parvient à une station terrienne OSG en fonctionnement au moment d'une perte de synchronisation avec un signal connu. Cette technique a l'avantage de permettre la détection du brouillage non OSG même en présence du signal OSG et de bruit. La capacité qu'offre cette technique pour détecter de très faibles niveaux de brouillage tient au gain de traitement obtenu par la corrélation. Le gain de traitement dépend du temps d'intégration et de la technique de corrélation utilisée.

Il convient de noter que dans cette méthode on a supposé que la station terrienne OSG subissait des brouillages par un lobe latéral d'un unique faisceau d'un satellite non OSG. D'autres études sont nécessaires pour déterminer l'application de telles méthodes dans le cas de lobes latéraux de plusieurs faisceaux causant des brouillages à la station terrienne OSG.

#### 4.1.1 Techniques d'autocorrélation cycliques

La mesure du niveau de puissance de la porteuse non OSG est obtenue ici par autocorrélation cyclique du signal mémorisé.

Le calcul de l'autocorrélation cyclique d'un signal  $s(t)$  est fondé sur une transformation de Fourier rapide (TFR) de l'autocorrélation  $\Gamma_s(t, \tau)$  du signal  $s(t)$  dans le plan défini par une variable temps et par une variable fréquence. Le débit d'éléments  $R_c$  du signal non OSG est utilisé comme signal discriminant pour corréler le signal non OSG avec lui-même et obtenir une augmentation de gain suffisante.

L'efficacité et la précision de cette méthode dépendent du temps d'intégration qu'il est possible d'obtenir pour le signal non OSG.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet une mesure directe du niveau de la porteuse non OSG brouillant une porteuse OSG active. Elle est par conséquent entièrement représentative du trafic dans un faisceau unique du satellite émettant la porteuse non OSG au moment de la perte de synchronisation.

Une étude d'un scénario de brouillage particulier a montré que le brouillage pouvait être mesuré pour des rapports  $C_{OSG}/I_{non\ OSG}$  pouvant atteindre 10 dB.

La précision de cette technique appelle un complément d'étude.

#### 4.1.2 Techniques d'autocorrélation

Cette technique permet de corréler le signal mémorisé avec une version différée de ce signal. Cette méthode ne donne pas directement la mesure du niveau de puissance de la porteuse non OSG, mais la mesure d'un signal de référence.

Le niveau de la porteuse non OSG doit être estimé au moyen d'une relation donnant le rapport des niveaux de puissance entre le signal de référence non OSG et la porteuse non OSG. La précision de l'estimation de ce rapport fait l'objet d'une analyse au § 4.1.4.

L'efficacité de la technique d'autocorrélation en termes de rapport  $C_{OSG}/I_{non\ OSG}$  et sa précision associée appellent un complément d'étude.

#### 4.1.3 Techniques de corrélation croisée

Cette technique permet de corréler le signal mémorisé avec un signal de référence qui n'est pas nécessairement spécifique. Tout comme pour les techniques d'autocorrélation, les techniques de corrélation croisée ne donnent pas directement une mesure du niveau de puissance de la porteuse non OSG mais celle d'un signal de référence. Le niveau de la porteuse non OSG doit être estimé en utilisant une relation donnant le rapport des niveaux de puissance entre le signal de référence non OSG et la porteuse non OSG. Ce rapport fait l'objet d'une analyse au § 4.1.4.

En utilisant des simulations sur un système non OSG AMRC représentatif, causant des brouillages à une station terrienne OSG opérationnelle avec un rapport  $C_{OSG}/I_{non\ OSG}$  de 20 dB et un gain spécifié de 60 dB sur le signal de référence, on montre qu'il est possible d'obtenir une précision d'au moins 1 dB sur la mesure du signal de référence non OSG (sans tenir compte de la précision de l'étalonnage de la chaîne de réception de la station OSG).

#### 4.1.4 Relation entre les niveaux de puissance du signal de référence non OSG et du signal de porteuse non OSG

Cette relation peut être établie de deux façons:

- a) par observation du rapport moyen entre le signal de référence non OSG et les niveaux de porteuses en utilisant une antenne de mesure distincte pointant dans le faisceau principal de la station spatiale non OSG. Le problème que pose cette approche est qu'elle fournit des informations sur le rapport niveau du signal de référence non OSG/niveau de la porteuse non OSG qui est représentatif du trafic d'un satellite non OSG particulier à un instant donné et dans un faisceau donné mais qui peut ne pas être représentatif du trafic acheminé par le satellite non OSG à l'origine des brouillages dans le faisceau de la station terrienne OSG, au moment de la perte de synchronisation; ou
- b) en demandant à l'opérateur du système non OSG de fournir la valeur maximale du rapport signal de référence non OSG/niveaux des porteuses. Le problème que pose cette approche est qu'elle peut conduire à une surestimation du signal de porteuse non OSG. En outre, il peut être difficile pour le système non OSG de produire un niveau constant de puissance surfacique du signal de référence non OSG compte tenu de la charge de trafic, étant donné les incertitudes éventuelles concernant l'influence du niveau de trafic sur le niveau du signal de référence.

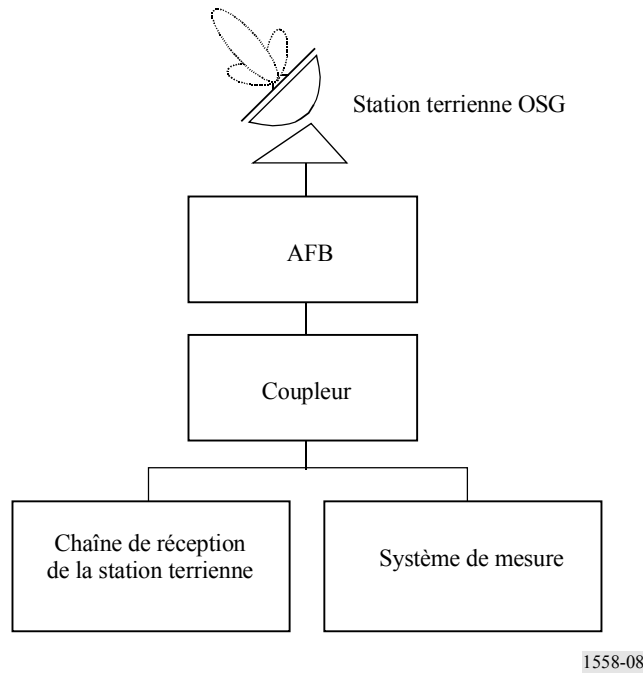
Un complément d'étude serait nécessaire pour déterminer la précision de chaque approche, mais l'approche b) apparaît être préférable.

## 4.2 Description de la configuration de test

La configuration de test associée à cette méthode est commune aux différentes approches proposées faisant appel aux techniques de corrélation.

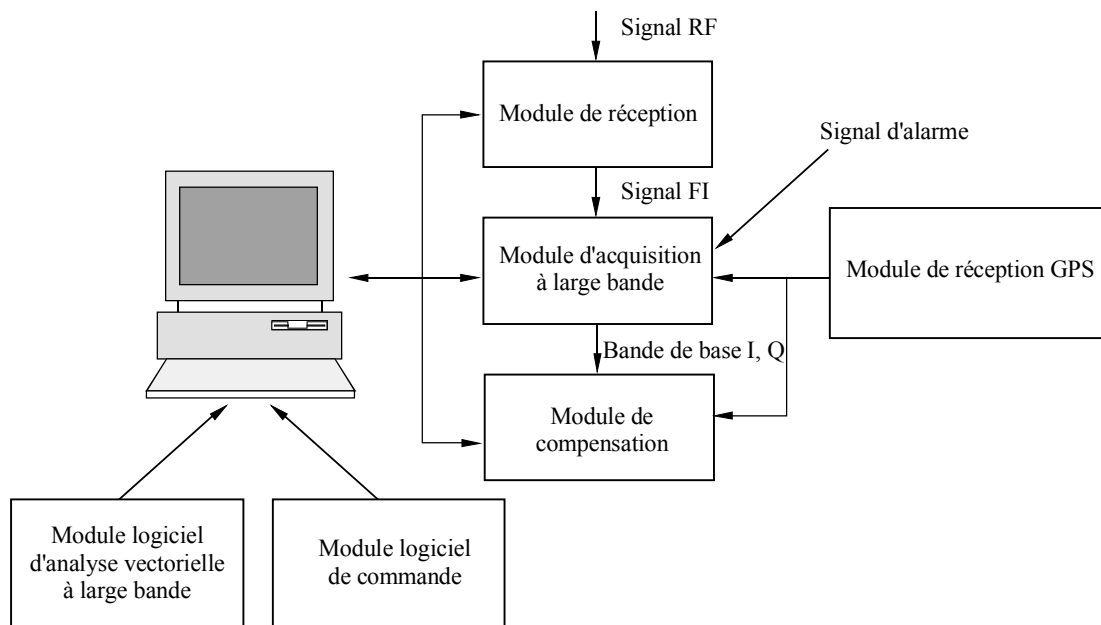
Le système de mesure est obligatoirement placé dans la station terrienne OSG afin que l'antenne et l'AFB soient communs à la chaîne de réception de la station terrienne OSG et au système de mesure.

FIGURE 8  
**Implantation du système de mesure dans la chaîne de réception OSG**



Le diagramme fonctionnel de la configuration de mesure associée à cette méthode est représenté dans la Fig. 9:

FIGURE 9  
**Configuration de mesure du niveau de puissance du signal non OSG**  
 Système de mesure non OSG



GPS: système mondial de radiorepérage

Le système de mesure comporte:

- Un module de réception qui transpose la portion de largeur de bande nécessaire du signal RF entrant en un signal FI standard.
- Un module d'acquisition à large bande qui numérise, transpose le signal FI en bande de base, échantillonne le signal en bande de base puis le mémorise.
- Un module de réception GPS qui indique l'instant précis d'enregistrement du signal non OSG.
- Un module de compensation qui assure à la fois la compensation de fréquence Doppler et la compensation de synchronisation du signal à large bande.
- Une unité de calcul du système de mesure et qui comporte deux modules logiciels:
  - un module analyseur vectoriel à large bande qui permet la détection et la mesure du signal brouilleur non OSG affectant un signal OSG;
  - un logiciel de commande qui permet la télécommande de la chaîne par une liaison de données (RS232, IEEE488, Ethernet).

### 4.3 Calcul du niveau $epfd_{\downarrow}$ non OSG

La procédure de mesure proposée au § 4.1 permet d'obtenir le niveau de puissance non OSG à la sortie du coupleur de la chaîne de réception OSG (voir la Fig. 8). Afin de permettre à l'opérateur du système OSG de vérifier la conformité du niveau de puissance de la porteuse non OSG avec les limites opérationnelles stipulées dans les Tableaux 22-4A et 22-4B du RR, il est nécessaire de convertir le niveau de puissance non OSG en un niveau d' $epfd_{\downarrow}$  réellement reçu par la station terrienne OSG.

Les paragraphes qui suivent décrivent les calculs nécessaires pour convertir le niveau de puissance non OSG mesuré au § 4.1, en un niveau d' $epfd_{\downarrow}$  non OSG reçu à l'entrée de la station terrienne OSG en service.

La puissance non OSG reçue dans l'ouverture de l'antenne,  $p_{input}$  (W), est donnée dans l'équation suivante:

$$p_{input} = \left[ \frac{p_e}{4\pi d^2} \right] \cdot \left[ g_{ant} \frac{\lambda^2}{4\pi} \right] = \Phi \cdot s_{eff} \quad \text{W}$$

où:

- $p_e$ : puissance émise (W)
- $\lambda$ : longueur d'onde (m)
- $d$ : distance entre le satellite et la station terrienne (m)
- $\Phi$ : puissance surfacique à l'entrée de l'antenne (W)
- $g_{ant}$ : gain d'antenne du récepteur (dBi)
- $s_{eff}$ : ouverture équivalente de l'antenne ( $m^2$ ).

La puissance du signal non OSG reçu à la sortie du coupleur est donné par l'équation suivante:

$$P_{output} = P_{input} + G_{AFB} - L \quad \text{dBW}$$

où:

- $G_{AFB}$ : gain de l'amplificateur à faible bruit (dB)
- $L$ : affaiblissement entre la sortie de l'amplificateur AFB et le point de monitoring du système de mesure, (dB).

La technique de corrélation décrite au § 4.1 donne le niveau de la puissance du signal non OSG dans une largeur de bande de 40 kHz. Connaissant le niveau du signal reçu à la sortie de l'antenne, et le gain de l'amplificateur AFB et les pertes dans le système de mesure, l'epfd<sub>↓</sub> produite par le système non OSG au niveau de la station terrienne OSG est donnée par la relation suivante:

NOTE 1 – Lorsque l'epfd<sub>↓</sub> brouilleuse (Φ) est reçue dans l'axe, elle correspond effectivement à la puissance surfacique pfd(Φ):

$$10 \log_{10} \Phi = 10 \log_{10} P_{non\ OSG-40\ kHz} - 10 \log_{10} (s_{eff}) - G_{AFB} + L + 10 \log_{10} (B/40) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 40\ \text{kHz))}$$

dans laquelle B est la largeur de bande de la porteuse non OSG (kHz).

Dans cette dernière équation, le terme  $-10 \log_{10} (s_{eff}) - G_{AFB} + L$  doit être déterminé au moyen du processus d'étalonnage décrit dans la section qui suit.

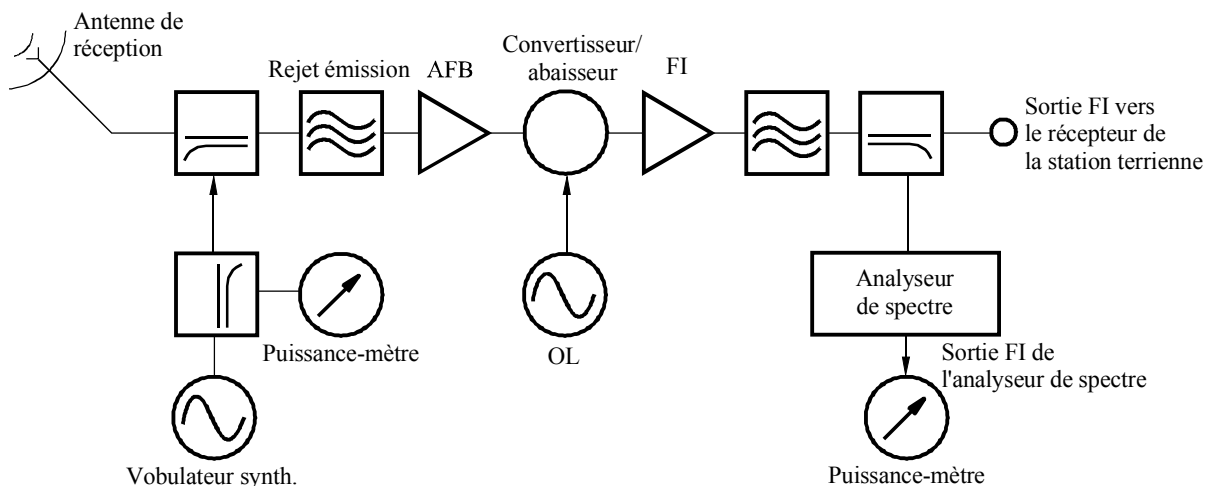
#### 4.4 Etalonnage de la station terrienne de réception

##### 4.4.1 Introduction

L'étalonnage de la station terrienne de réception a pour but de déterminer un facteur permettant de convertir les résultats des mesures faites en un point RF ou FI d'une chaîne de réception en une valeur équivalente de puissance surfacique au niveau de l'ouverture de l'antenne de réception. Par exemple, le niveau de puissance crête d'un signal associé à un brouilleur non OSG est mesuré à la sortie du convertisseur-abaisseur de la station terrienne comme indiqué à la Fig. 10. Le niveau de puissance est mesuré soit en termes absolus soit en termes relatifs par rapport à un niveau de référence connu. Dans les deux cas, le gain du signal le long du trajet entre l'ouverture de l'antenne de réception et la sortie du convertisseur-abaisseur, en fonction de la fréquence, doit être déduit de la valeur mesurée pour obtenir une puissance surfacique. Plusieurs méthodes utilisables pour l'étalonnage de l'antenne et de la chaîne de réception sont résumées ci-dessous.

FIGURE 10

Etalonnage d'une station terrienne de réception par injection d'une porteuse



1558-10

##### 4.4.2 Méthodes d'étalonnage

###### 4.4.2.1 Méthode d'étalonnage par injection de porteuse

Afin d'obtenir la précision la plus grande possible pour mesurer l'epfd<sub>↓</sub>, il est nécessaire de disposer d'une station terrienne de réception parfaitement étalonnée. Le terme parfaitement étalonnée signifie que le gain de l'antenne de réception déterminé aux flasques de sortie du guide d'onde, et que le gain

de conversion de l'AFB ou de la chaîne du convertisseur-abaisseur de fréquence (LNB) sont connus sur toute la largeur de bande de fonctionnement de la station terrienne. Le facteur de conversion est déterminé par la somme de toutes les caractéristiques de transfert de gain.

Si l'on ne dispose pas des données d'étalonnage de la chaîne LNB, il faut utiliser une configuration de mesure telle que celle représentée à la Fig. 10 pour étalonner la chaîne LNB. Dans ce diagramme fonctionnel, on suppose qu'il est possible d'injecter une porteuse en ondes entretenues dans le trajet du signal de la chaîne de réception et qu'il est possible d'observer le niveau de la porteuse injectée à la sortie. Etant donné qu'il est nécessaire de disposer d'un coupleur entre l'antenne et l'AFB, ce système ne pourra vraisemblablement être utilisé que pour une station terrienne autonome spécialisée, une station pour test en orbite ou une station terrienne qui est désactivée pour reconfiguration.

L'injection d'une porteuse en ondes entretenues avec une fréquence de balayage dans la chaîne LNB permet de caractériser intégralement le trajet à travers la chaîne LNB en termes de couples amplitude-fréquence. Si la station terrienne est en service pendant l'étalonnage, il faudra établir une liste de fréquences discrètes pour l'étalonnage de manière à ne pas gêner l'exploitation de cette station. Les résultats peuvent être ensuite stockés dans une table d'étalonnage qui sera utilisée pour traitement ultérieur des données. Lors de l'étalonnage de la chaîne LNB, il faudra s'assurer que l'AFB est bien linéaire et ceci avant les mesures d'étalonnage. L'affaiblissement d'insertion et les facteurs de couplage des coupleurs directionnels de la Fig. 10 doivent être caractérisés avant l'étalonnage.

La source la plus importante d'incertitude dans les méthodes de mesure étudiée ici concerne l'antenne de la station terrienne de réception. Il existe plusieurs méthodes différentes de mesure du gain et du facteur de qualité,  $G/T_s$ , d'une antenne, auxquelles est associé un niveau d'incertitude.

L'antenne de la station terrienne peut être étalonnée en utilisant l'un des différents moyens selon les ressources et le temps disponibles et la précision voulue. Dans la bande des 14/11 GHz, on utilise la méthode de la radioétoile pour des diamètres d'ouverture d'au moins 11 m. Pour les antennes de moins de 11 m de diamètre, le gain peut être calculé en utilisant la méthode d'intégration du diagramme ou la méthode d'approximation de l'ouverture de faisceau. Pour les antennes beaucoup plus petites, le gain peut être déterminé de manière plus précise en utilisant la méthode du cornet à gain normalisé.

#### 4.4.2.2 Méthode du cornet à gain normalisé

Cette méthode est en général utilisée pour les petites antennes, elle permet simplement de comparer l'antenne étudiée avec une autre antenne dont le gain est connu. Cette méthode est l'une des plus précises parmi toutes celles examinées ici, elle présente une erreur quadratique moyenne d'environ  $\pm 0,44$  dB. Toutefois, cette méthode n'est pas applicable aux grandes antennes telles que celles des stations terriennes en raison de la grande différence de gain entre l'antenne étudiée et le cornet à gain normalisé.

#### 4.4.2.3 Méthode d'intégration du diagramme

La directivité d'une antenne peut être déterminée en intégrant et en moyennant plusieurs coupes du diagramme de rayonnement à grand angle à une fréquence donnée. Les affaiblissements prévisibles concernant des facteurs tels que la tolérance efficace de surface, la pureté de la polarisation, les pertes ohmiques, la mutilation du diagramme et les débordements sont déduits de la valeur de la directivité pour parvenir au gain de l'antenne mesuré aux flasques de sorties du guide d'onde. Les données de diagramme de rayonnement doivent être obtenues sur plusieurs fréquences différentes afin de pouvoir calculer le gain de l'antenne dans la bande considérée.



#### 4.4.2.4 Méthode d'approximation de l'ouverture du faisceau

Cette méthode est en général utilisée pour des antennes à réflecteur dont on sait qu'elles présentent une efficacité de 65 à 70%. Cette méthode nécessite la mesure de l'ouverture du diagramme de rayonnement de l'antenne et utilise une formule de calcul du gain, elle inclut toujours un terme d'erreur d'approximation de 0,40 dB. L'erreur quadratique moyenne totale est environ de  $\pm 0,55$  dB. Elle nécessite également une mesure distincte de l'affaiblissement dans le système d'alimentation.

#### 4.4.2.5 Méthode de la radioétoile

Compte tenu des progrès récents en matière d'étalonnage des densités de flux émises par les radioétoiles, la technique d'étalonnage du gain d'antenne la plus précise est la méthode dite de la radioétoile, à condition que l'antenne ait une ouverture suffisamment grande et que la fréquence de mesure soit suffisamment élevée. Cette méthode fait appel à deux mesures: la mesure du gain et la mesure de la température de bruit du système,  $T_s$ , pour un angle d'élévation donné. L'incertitude quadratique moyenne totale associée à la mesure du gain est de  $\pm 0,23$  dB.

#### 4.4.2.6 Méthode de la station terrienne de référence étalonnée

Les procédures d'étalonnage ci-dessus nécessitent la mise hors service de la station terrienne, ce qui n'est pas toujours possible lorsque celle-ci achemine un grand volume de trafic essentiel. Une autre méthode d'étalonnage de la station terrienne de réception consiste à mesurer la puissance/puissance surfacique d'une porteuse de mesure au niveau d'une station terrienne de référence étalonnée, et connaissant la différence de gain de l'antenne d'émission du satellite dans la direction de l'antenne de référence étalonnée et dans la direction de la station terrienne de réception étudiée, on peut calculer le gain de l'antenne et de la chaîne de réception.

INTELSAT utilise plusieurs stations terriennes étalonnées pour le CSM, ou le test en orbite (IOT, *in-orbit testing*). Ces stations terriennes donnent des mesures très précises de la porteuse de liaison descendante ou des signaux de test émis par le satellite. Dans le cas de stations terriennes CSM, le niveau de chacune des porteuses acheminant du trafic dans un répéteur est soigneusement observé pour s'assurer que les répéteurs fonctionnent avec les bons reculs d'entrée et de sortie. Dans le cas de stations terriennes IOT, les niveaux de réception des signaux provenant du satellite sont mesurés avec précision pour les tests en orbite du satellite lors des essais de recette.

#### 4.4.3 Incertitudes d'étalonnage de la station terrienne de réception

A toute mesure est associé un niveau d'incertitude. La précision des méthodes de mesure étudiées dépend des éléments suivants:

- Fréquence de fonctionnement: on peut s'attendre à ce que les erreurs de mesure augmentent avec la fréquence.
- Disponibilité d'une radio source étalonnée avec précision (c'est-à-dire une radio-étoile) à l'endroit du test, et d'une antenne suffisamment grande pour utiliser la méthode de la radioétoile. Par exemple, dans la bande des 11 GHz, une ouverture d'antenne d'au moins 11 m est nécessaire pour réaliser les mesures de gain et de  $G/T_s$  avec la méthode de la radioétoile.
- Etalonnage des réseaux d'alimentation insérés, des coupleurs et des lignes de transmission.
- Pointage et réglage de l'antenne.
- Désadaptation dans le montage de test, y compris les modifications du taux d'ondes stationnaires causées par la présence de l'équipement de mesure.
- Temps clair, calme.

Le Tableau 3 contient la liste d'incertitudes types associées aux différentes techniques de mesure de gain d'antenne, des incertitudes associées à l'appareil de mesure de la puissance qu'il faut connaître dans la procédure d'étalonnage de la chaîne de réception décrite plus haut et l'incertitude associée à la mesure du rapport  $C/N$  décrite plus haut.

TABLEAU 3

**Incertitudes associées aux différentes  
composantes des mesures**

<i>Gain d'antenne</i>	(dB)
Méthode de la radioétoile	$\pm 0,23$
Méthode du cornet à gain standard	$\pm 0,44$
Méthode d'intégration du diagramme	$\pm 0,55$
Méthode d'approximation de l'ouverture du faisceau	$\pm 0,55$
<i>Puissance-mètres</i>	
Incertainces de l'amplitude absolue du puissance-mètre	$\pm 0,20$
Incertainces DSS	$\pm 0,25$

Le Tableau 4 récapitule les valeurs types pour les incertitudes totales correspondant au cas le plus défavorable et la valeur quadratique des incertitudes pour la procédure d'étalonnage avec injection de porteuse, qui nécessite une composante d'étalonnage du gain de l'antenne et deux fois les composantes d'incertitude du puissance-mètre (étant donné que deux puissance-mètres sont utilisés pour faire une mesure de puissance relative et non absolue).

TABLEAU 4

**Incertainces totales de mesure**

	<b>Incertaince totale dans le cas le plus défavorable (dB)</b>	<b>Incertaince quadratique totale (dB)</b>
Radioétoile	$\pm 0,88$	$\pm 0,43$
Cornet à gain standard	$\pm 1,09$	$\pm 0,57$
Intégration de diagramme	$\pm 1,20$	$\pm 0,65$
Approximation d'ouverture de faisceau	$\pm 1,20$	$\pm 0,65$

Une autre méthode consiste à utiliser la valeur du rapport  $G/T$  de la station terrienne que l'on pourrait obtenir lors du test de la station terrienne standard. En utilisant les valeurs mesurées des rapports  $(C+N)/N$  ou  $(I+N)/N$  pour obtenir respectivement les valeurs de  $C/N$  ou de  $I/N$ , et l'équation de conversion ci-dessous, il est possible de calculer la limite de puissance surfacique à l'entrée de l'antenne.

$$pfd = 10 \log \left( kb \frac{c}{n} \left( \frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \frac{t_s}{g_r} \right) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$$

dans laquelle:

- $k$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  W/Hz/K)
- $b$ : largeur de bande de référence (40 kHz)
- $\frac{c}{n}$ :  $C/N$  exprimé sous forme d'un rapport numérique
- $\lambda$ : longueur d'onde (m)
- $t_s$ : température de bruit de la station terrienne de réception (degrés K)
- $g_r$ : gain de réception dans l'axe de l'antenne de la station terrienne (dBi).

On suppose que  $T_s$  peut être calculé ou est égal à la température de bruit  $T$  de la station terrienne de réception. Si le rapport  $G/T$  a été obtenu par la méthode de la radioétoile, la mesure de la puissance surfacique aurait une incertitude quadratique de  $\pm 0,41$  dB en général.

Dans le cas de l'utilisation de la méthode de la station terrienne de référence étalonnée, la mesure type de la puissance surfacique en une station terrienne CSM ou IOT présente une incertitude d'environ  $\pm 0,43$  dB. Compte tenu des incertitudes relatives au diagramme d'antenne de la station spatiale, aux erreurs de pointage et aux mesures DSP, l'incertitude quadratique totale serait d'environ  $\pm 0,56$  dB (voir le point b) du § 3.6.3).

Les incertitudes de mesure précitées ne peuvent être évitées étant donné que la précision des mesures réelles faites en RF ou en FI au niveau d'une station terrienne opérationnelle est limitée par les moyens d'étalonnage disponibles pour l'opérateur. La levée de ces incertitudes de mesure peut être un processus long et onéreux pour des systèmes opérationnels OSG du SFS. Il conviendra de prendre en considération les marges d'erreur dans l'élaboration de procédures réglementaires reposant sur de telles mesures opérationnelles.