

## RAPPORT UIT-R SF.2046

**Détermination du potentiel de brouillage et de son éventuelle réduction au moyen de techniques de limitation, entre des stations terriennes du service fixe par satellite exploitées avec des satellites non géostationnaires et des stations du service fixe dans la bande 18/19 GHz**

(Questions UIT-R 237/4 et UIT-R 206/9)

(2004)

## **1 Introduction**

Des bandes de fréquences ont été spécifiquement désignées pour être utilisées par des systèmes OSG et non OSG du SFS en partage à titre primaire avec le service fixe. Les CMR-95/97 ont adopté un ensemble différent de dispositions dans le numéro 5.523A du Règlement des radiocommunications (RR) applicable au SFS non OSG utilisant les bandes 18,8-19,3 GHz et 28,6-29,1 GHz découlant des dispositions applicables au SFS non OSG dans des bandes autres que celles précitées. Le présent Rapport porte uniquement sur la bande 18,8-19,3 GHz, dénommée dans la suite du texte bande 18/19 GHz.

Pour le partage entre le SFS et le service fixe, il conviendrait également de prendre en considération les conséquences de la mise en place de systèmes à haute densité des deux services, qui requiert une attention toute particulière pour ce qui est des espacements géographiques. Ces restrictions pourraient gêner l'utilisation des deux services dans les mêmes zones; cependant, la situation de partage pourrait être améliorée en recourant à des techniques de limitation des brouillages.

## **2 Brouillage causé par un émetteur du service fixe à une station terrienne du SFS non OSG**

La mise en place progressive de stations du service fixe ou de stations terriennes du SFS peut gêner le développement futur des deux services dans la même bande de fréquences. De même, la répartition géographique des stations du service fixe et des stations terriennes du SFS nécessaires à l'introduction et au développement de services viables a un effet déterminant sur la planification du partage des bandes. A ce jour, les études sont limitées aux brouillages causés par les émetteurs du service fixe aux stations terriennes du SFS non OSG LEOSAT-1 fonctionnant dans la bande 18,8-19,3 GHz.

### **2.1 Critères de brouillage et méthodologie associée**

Les calculs de brouillage ont été effectués par plusieurs administrations qui ont utilisé des paramètres du service fixe extraits de leurs bases de données administratives.

Dans les études déterministes on a pris pour hypothèse une transmission en visibilité directe et utilisé un modèle de propagation avec affaiblissement en espace libre et absorption atmosphérique. Dans certaines études, il a été tenu compte de la diffraction due au relief et aux obstacles artificiels.

Le niveau de brouillage causé aux stations terriennes a été calculé pour chaque émetteur du service fixe contenu dans la base de données et pour tous les azimuts autour de ces émetteurs. Les zones d'exclusion résultantes ont alors été rapportées graphiquement sur les cartes de certaines zones urbaines importantes. Dans tous les cas, le gain minimal d'antenne de la station terrienne (lobe arrière) a été utilisé et dans les calculs il n'a pas été tenu compte des conditions de propagation anormales; on a donc utilisé un critère  $I/N$  à long terme correspondant à 6 à 10% du niveau de bruit thermique.

Ce critère peut nécessiter un complément d'étude pour tenir compte des effets de la présence simultanée de plusieurs émetteurs du service fixe causant des brouillages à une station d'utilisateur du SFS non OSG dans la largeur de bande de réception. Dans le cas de LEOSAT-1, on aurait une largeur de bande complète de réception de 500 MHz. Lorsque cette largeur de bande est diminuée, la probabilité d'avoir plusieurs émetteurs du service fixe causant des brouillages simultanément devient plus faible.

Les études statistiques permettent d'évaluer, à partir de certaines hypothèses, la densité spectrale de puissance brouilleuse au niveau des récepteurs du SFS en plaçant ces stations dans le faisceau ponctuel du satellite en fonction des taux de pénétration supposés dans différentes classes de feuillus au sol. Pendant la procédure de calcul des brouillages, le lieu de la station du SFS est choisi de manière aléatoire parmi des emplacements prédéfinis selon le scénario de pénétration, avec les hypothèses suivantes:

- le canal assigné à la liaison descendante du SFS est choisi aléatoirement dans la bande de fréquences du service fixe avec une largeur de bande correspondant à une capacité de transmission choisie au hasard, en combinant les canaux de fréquences de la station du SFS considérée (bien que dans cette étude on suppose que les largeurs de bande sont variables, ces études devraient être fondées sur une largeur de bande de 500 MHz dans le cas du système LEOSAT-1);
- le satellite assurant la communication avec la cellule/le faisceau ponctuel du SFS considéré(e) est déterminé par le critère de la distance la plus courte;
- l'antenne de la station du SFS est installée sur le toit des bâtiments ou au-dessus de la couverture végétale.

Le niveau de puissance à la réception en provenance du satellite est calculé compte tenu de l'angle d'élévation et des conditions de propagation. Tous les émetteurs du service fixe situés à moins de 60 km du récepteur du SFS sont choisis dans la bande de fréquences affectée. La densité de puissance brouilleuse résultante est évaluée par accumulation des signaux de tous les émetteurs du service fixe considéré.

Le rapport  $C/I$  au niveau du récepteur du SFS est calculé en comparant le niveau de puissance brouilleuse avec le niveau de puissance reçu en provenance du satellite utile. Le niveau de brouillage peut également se rapporter au niveau de bruit du récepteur,  $N$ . Ces niveaux de brouillage sont comparés avec un niveau de brouillage de référence de  $-145$  dB(W/MHz) (c'est-à-dire  $-10$  dB  $I/N$ ). Les distributions cumulatives des rapports  $C/I$  pour des conditions de propagation standard (affaiblissement dépassé pendant moins de 20% du temps) ainsi que pour des conditions de pluie (cas le plus défavorable: 0,001% du temps) sur le trajet espace-Terre ont été calculées.

## 2.2 Application possible d'un processus de convolution pour l'évaluation des brouillages

Dans une étude, était présentée une méthode possible d'évaluation des brouillages causés par les émetteurs du service fixe aux récepteurs des stations terriennes du SFS non OSG, fondée sur l'application d'une méthode analogue à celle qui figure dans la Recommandation UIT-R S.1323. Cette méthode intègre la nature variable dans le temps des brouillages par convolution des fonctions de densité de probabilité de la dégradation due aux précipitations et de la dégradation due aux brouillages, obtenues par simulation informatique, pour obtenir la fonction de densité de probabilité de dégradation totale.

### 3 Brouillages potentiels causés par les émetteurs point à point du service fixe à des récepteurs de stations terriennes du SFS non OSG en l'absence de techniques de limitation des brouillages

#### 3.1 Brouillage en l'absence de techniques de limitation des brouillages

##### 3.1.1 Etudes déterministes

Autour des émetteurs du service fixe, il existe des zones dans lesquelles les stations d'utilisateur de systèmes non OSG ne peuvent fonctionner de manière fiable à cause des brouillages qui y sont trop importants. Ces zones sont appelées "zones d'exclusion". Un émetteur du service fixe point à point créera (dans des conditions de ciel clair, et de terrain dégagé) une zone d'exclusion circulaire tout autour de lui (directions hors axe) et une zone d'exclusion elliptique s'étendant à une grande distance le long de la direction dans l'axe de l'émission.

##### 3.1.1.1 Résultats obtenus avec des calculs d'affaiblissement en espace libre et sans occultation

La Fig. 1 illustre un exemple de zone d'exclusion calculée avec des paramètres d'un émetteur type du service fixe point à point équipé d'une antenne parabolique de 0,6 m. La limite est déterminée pour un critère prudent de brouillage monosource à long terme de 6% du bruit de la station d'utilisateur du système non OSG (c'est-à-dire  $I/N = -12,2$  dB) dans des conditions de ciel clair et de terrain dégagé. Les stations d'utilisateur de systèmes non OSG devront être placées en dehors de ce contour afin de garantir que les niveaux de brouillages causés par l'émetteur du service fixe seront suffisamment faibles. On peut observer dans la vue agrandie à la Fig. 2 que le diamètre de la zone d'exclusion autour de la station peut être voisin de 1 km et que sa longueur dans la direction de l'émission peut être nettement supérieure à 45 km. Toutefois, cette distance et la zone affectée pourraient être réduites en utilisant un critère de brouillage à long terme plus approprié de 10%.

FIGURE 1

Exemple de zone d'exclusion pour des stations standards LEOSAT-1 créée par un émetteur type du service fixe équipé d'une antenne de 0,6 m de diamètre (hypothèse: critère de brouillage de 6% dans des conditions d'affaiblissement de propagation en espace libre)

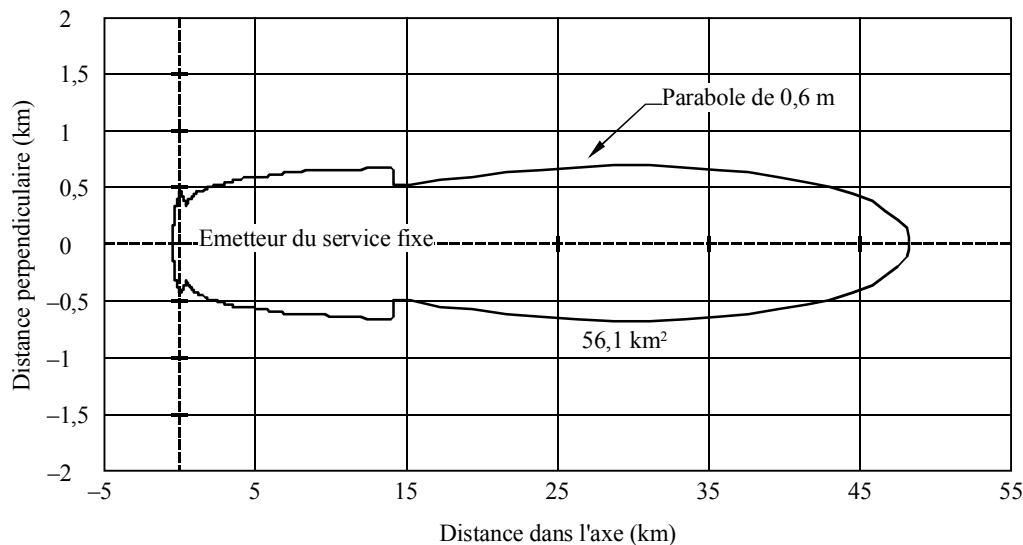
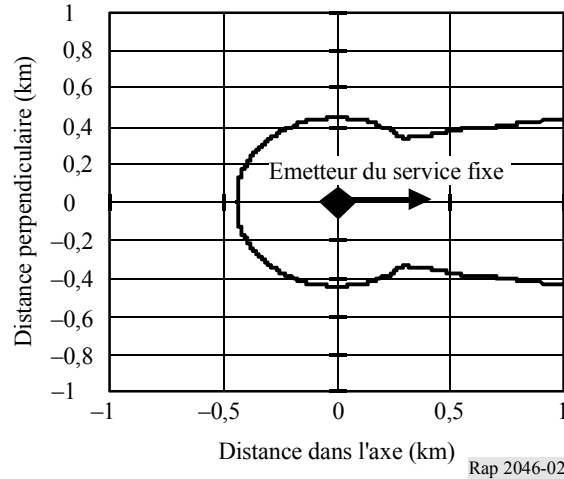


FIGURE 2  
Vue agrandie de la Fig. 1

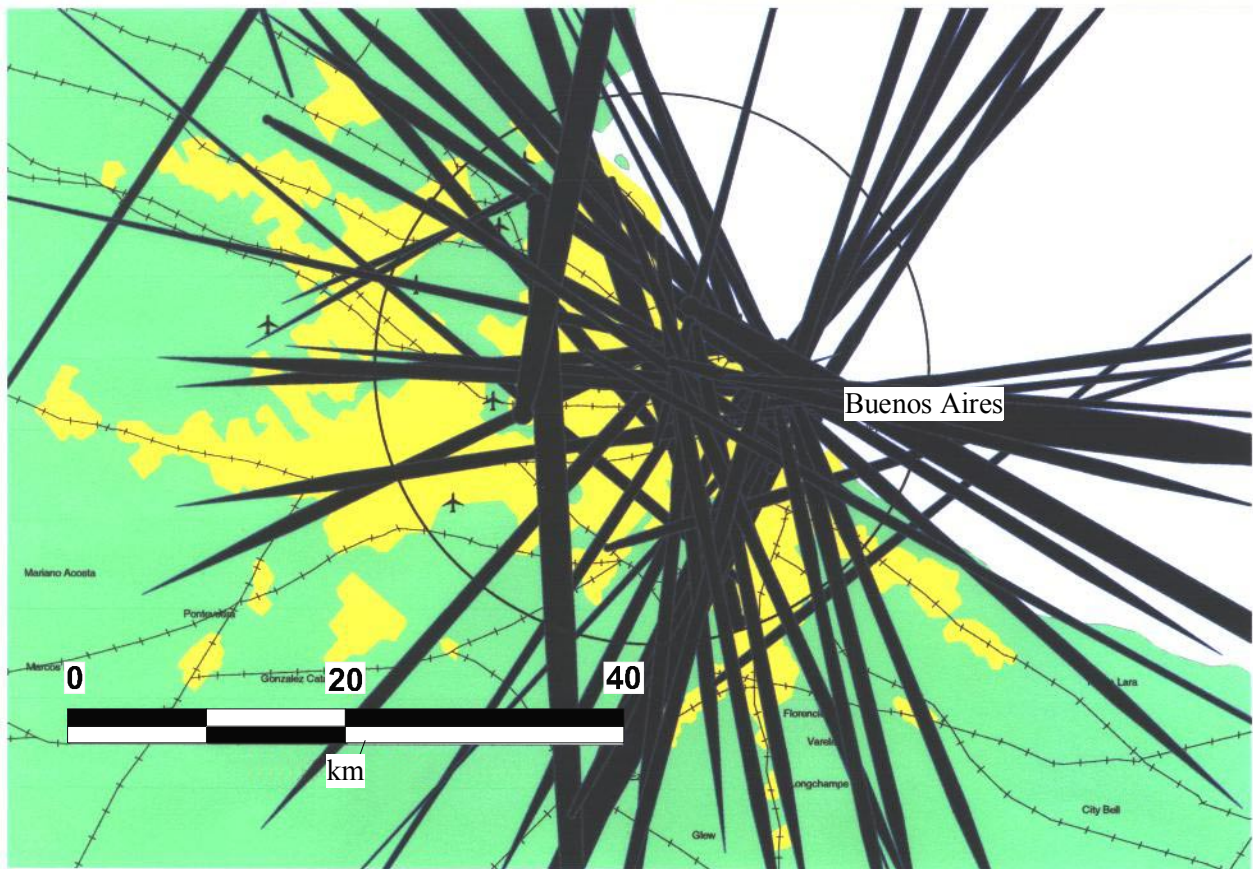


Au Canada, une étude a permis d'analyser les effets des brouillages causés par les émetteurs du service fixe à une station terrienne de réception du SFS non OSG dans la bande 18,8-19,3 GHz. Les calculs ont été effectués en utilisant une base de données de paramètres du service fixe extraits de la base de données d'octroi des licences du Canada et les zones d'exclusion ont été superposées graphiquement sur des cartes de certaines zones urbaines importantes du pays. Les résultats des calculs de brouillage déterministes ont montré que la zone d'exclusion due aux émetteurs du service fixe serait très étendue dans la direction principale de l'émission (en général comprise entre 40 et 80 km), mais serait étroite dans les autres directions bien en dehors du faisceau principal du service fixe. Dans tous les cas, on a constaté qu'il y avait une zone importante dans chaque ville dans laquelle l'installation d'une station du SFS non OSG serait très difficile voire impossible. En fait, le calcul de la zone d'exclusion à l'intérieur d'un cercle de 40 km de diamètre, représentative des zones urbaines, indique que 35%, 48% et 47% de ces zones ne pourraient pas être utilisés pour les stations du SFS non OSG dans les trois cas considérés, en l'absence d'un certain degré d'occultation.

Dans une autre étude, on a analysé le brouillage qui pouvait être causé par des émetteurs types du service fixe à des stations d'utilisateur du SFS non OSG placées au voisinage et fonctionnant sur la même fréquence, dans la bande 18,8-19,3 GHz. Dans cette analyse, on a calculé les zones d'exclusion en utilisant les caractéristiques réelles des émetteurs du service fixe contenues dans une base de données des émetteurs du service fixe en Argentine.

La Fig. 3 montre les zones d'exclusion calculées correspondant à chaque émetteur du SFS potentiellement brouilleur dans la région urbaine de Buenos Aires (en supposant les conditions de ciel clair et un terrain plat et dégagé). Les variations de la taille entre certaines zones d'exclusion tiennent à la différence des caractéristiques du service fixe contenues dans la base de données, telles la puissance d'émission et la taille d'antenne. Une région circulaire de 40 km de diamètre a été utilisée comme zone de référence. Dans une région urbaine à forte densité du service fixe, on aurait 65% de la zone dans laquelle les stations du SFS ne pourraient pas remplir leurs objectifs de qualité de fonctionnement et seraient potentiellement exclues du service LEOSAT-1 dans la bande 18,8-19,3 GHz.

FIGURE 3  
 Zone d'exclusion potentielle des stations terriennes du SFS dans la zone urbaine de Buenos Aires  
 due à la présence de stations du service fixe à 18,8-19,3 GHz: zone d'exclusion composite  
 de 65% dans le cercle de référence de 40 km de diamètre



Rap 2046-03

La conclusion de cette étude est que, en supposant une propagation en espace libre et l'absence d'occultation, l'installation de stations du service fixe dans la bande 18,8-19,3 GHz pourrait fortement limiter l'installation de terminaux d'utilisateurs du SFS non OSG. Cela est particulièrement vrai dans les zones où il y a une forte densité de stations du SFS. L'installation de stations d'utilisateur du SFS non OSG est rendue d'autant plus difficile que la densité de stations du service fixe augmente.

### 3.1.1.2 Résultats obtenus en utilisant des données topographiques et en présence d'occultation par les bâtiments

Lorsqu'on utilise des bases de données topographiques pour le calcul des zones d'exclusion, la surface couverte par ces zones d'exclusion peut être fortement diminuée. Dans le Tableau 1, on compare deux simulations dans lesquelles les zones d'exclusion correspondent à des zones dans lesquelles le critère à long terme ( $I/N = -10$  dB) n'est pas satisfait et où:

- *Cas 1*: dans le modèle de propagation on suppose qu'il n'y a pas d'obstacles dus au relief ou d'obstacles artificiels à l'horizon autour de chaque station du service fixe et où on utilise l'affaiblissement en espace libre et l'absorption atmosphérique.
- *Cas 2*: dans le modèle de propagation on tient compte de l'affaiblissement de propagation et de la diffraction sur le relief ainsi que des obstacles artificiels, en utilisant une base de données topographiques (les récepteurs du SFS non OSG étant installés à 1 m au-dessus des toits des bâtiments).

TABLEAU 1

**Comparaison des zones d'exclusion avec et sans occultation**

<b>Simulation</b>	<b>Pourcentage de la zone d'exclusion par rapport à la surface totale (14 km × 14 km centrés sur Paris)</b>
Cas 1 (sans tenir compte du relief ou des obstacles artificiels)	20,6
Cas 2 (en tenant compte du relief et des obstacles artificiels)	5,2

Les études ont été effectuées avec un logiciel de planification de radiocommunication qui inclut une modélisation numérique du relief et des couches d'occupation du sol (immeubles, population, ...) et qui permet de calculer les zones dans lesquelles le niveau des brouillages causés par une liaison du service fixe aux récepteurs des stations terriennes est supérieur à  $-97$  dBm (10 dB en dessous du bruit du système récepteur).

Les liaisons du service fixe prises en considération dans l'étude sont celles qui émettent dans la bande 18,8-19,3 GHz et qui sont situées dans une zone carrée de 14 km × 14 km autour de Paris (23 liaisons).

### 3.1.2 Etudes statistiques

Deux études statistiques ont été effectuées.

#### 3.1.2.1 Première étude statistique

Des simulations statistiques des brouillages entre d'une part des liaisons du service fixe existantes ou en projet et d'autre part des stations d'utilisateur de SFS non OSG dans la bande 18/19 GHz (système LEOSAT-1) dans une zone 118 × 118 km carrée centrée sur Paris ont été effectuées.

Le principe de la méthode reposait sur la création, dans la zone étudiée, d'un réseau fictif de stations d'utilisateur du SFS placées de manière aléatoire et puis de calculer, pour chaque station d'utilisateur, le brouillage total causé par les liaisons hyperfréquences existantes du service fixe dans la zone considérée.

Les stations d'utilisateur du SFS ont été mises en oeuvre dans la zone étudiée conformément au taux de pénétration (stations/km<sup>2</sup>) associé à chaque classe de fouillis au sol. Le rapport  $C/I$  retenu pour hypothèse était de 20 dB.

Le satellite actif choisi, au début de la simulation, est celui qui présentait l'élévation la plus grande (satellite le plus proche) et ce choix était maintenu aussi longtemps que son élévation était supérieure à la valeur minimale ( $40^\circ$  pour LEOSAT-1).

Les simulations relatives au brouillage consistent en des calculs de brouillage ( $C/I$ ) pour chaque station d'utilisateur en tenant compte de la configuration de la constellation (élévation et azimut); des conditions de propagation Terre-espace, conformément à la Recommandation UIT-R P.618 (à cette fin, l'affaiblissement dû à la pluie et les scintillations sont associés avec un pourcentage aléatoire pour obtenir, pour chaque calcul, l'affaiblissement espace vers Terre); l'affaiblissement de propagation conformément à la Recommandation UIT-R P.452 (visibilité, diffraction, diffusion troposphérique, y compris tous les facteurs statistiques); les caractéristiques des liaisons hyperfréquences (puissance, azimut, antenne, ...) et celles des stations d'utilisateur (caractéristiques du récepteur, antenne, ...). Chaque calcul du rapport  $C/I$  est appelé «échantillon» et à la fin de la simulation, les résultats sont présentés sous forme graphique donnant la distribution du rapport  $C/I$ .

Le Tableau 2 contient les résultats d'une simulation avec une distribution des stations du SFS dans une zone urbaine dense.

TABLEAU 2

**Résultats de la première simulation statistique**

Simulation	Pourcentage de stations d'utilisateur du SFS pour lesquelles $C/I < 20$ dB
Zones urbaines	1,5

On a constaté qu'on obtiendrait un pourcentage plus élevé d'occultation si pour cette étude on devait tenir compte de la largeur de bande de 500 MHz du récepteur de liaison descendante qui est la largeur de bande normale pour le système LEOSAT-1.

### 3.1.2.2 Deuxième étude statistique

Une autre étude portait sur le partage entre les applications du service fixe et celles du SFS dans la bande 18/19 GHz en tenant compte de la présence d'un très grand nombre de stations du service fixe dans une zone géographique donnée. La méthode diffère de la précédente du fait qu'il est tenu compte du relief et de l'utilisation des paramètres et des caractéristiques les plus courants des systèmes de radiocommunication mis en place dans la bande 18/19 GHz au Royaume-Uni.

#### 3.1.2.2.1 Approche utilisée

Cette étude portait sur les effets réciproques qu'auraient les liaisons du service fixe et les stations terriennes réceptrices lorsque celles-ci sont mises en œuvre dans la même bande et dans la même zone géographique.

Cette étude portait non seulement sur la diminution du nombre de liaisons du service fixe qui pouvaient être installées dans une zone donnée lorsque des récepteurs du SFS à haute densité étaient déjà présents, mais également la diminution possible des emplacements appropriés pour ces récepteurs lorsque la bande est intensément utilisée par les liaisons du service fixe dans une zone donnée.

Pour cette étude, on a utilisé une approche qui prenait en considération une implantation inégale de liaisons à satellite et de récepteurs à satellite, à savoir que le nombre des stations satellites était plus grand que les liaisons du service fixe dans une zone suburbaine de  $10 \times 10$  km.

#### 3.1.2.2.2 Paramètres et caractéristiques des systèmes utilisés pour les simulations

##### Caractéristiques des liaisons du service fixe

Dans cette étude, on a modélisé trois systèmes du service fixe correspondant à des débits de 8 Mbit/s, 34 Mbit/s et 155 Mbit/s. Les paramètres communs du service fixe pour les trois systèmes sont résumés dans le Tableau 3 et les caractéristiques spécifiques de chacun des systèmes sont indiquées dans le Tableau 4.

TABLEAU 3

**Caractéristiques communes des trois systèmes du service fixe simulé**

Paramètre	Valeur
Puissance d'émission minimale requise	Calculée
Emplacement de la tour et hauteur d'antenne	Comme dans la base de données sur les tours
Hauteur de l'antenne d'émission	15 m
Gain d'antenne <sup>(1)</sup>	38,4 dBi
Taille de l'antenne	0,6 m
Diagramme de rayonnement <sup>(1)</sup>	Conforme à la Recommandation UIT-R F.699
Polarisation	Verticale
Procédure de prédiction des brouillages hyperfréquence	Recommandation UIT-R P.452
Affaiblissement atmosphérique	Recommandation UIT-R P.676
Affaiblissement dû à la pluie	Recommandation UIT-R P.530 (disponibilité de 99,999%)

<sup>(1)</sup> Fourni par le constructeur. On a constaté qu'au Royaume-Uni, de nombreuses liaisons dans cette bande utilisaient des antennes avec des gains de 25-32 dBi.

TABLEAU 4

**Caractéristiques particulières des trois systèmes du service fixe utilisés pour les simulations**

Paramètre/système	Système à 8 Mbit/s	Système à 34 Mbit/s	Système à 155 Mbit/s
Longueur de trajet	4 km-14 km	4 km-14 km	300 m-6 km
Espacement des canaux	10 MHz	27,5 MHz	55 MHz
Largeur de bande FI du récepteur	7 MHz	18 MHz	55 MHz
Modulation	MDP-4	MDP-4	MAQ-32
Seuil $C/N$ <sup>(1)</sup>	13,5 dB	13,5 dB	23,5 dB
Seuil du récepteur <sup>(2)</sup> (TEB = $1 \times 10^{-6}$ )	-119,5 dBW	-105 dBW	-95 dBW

<sup>(1)</sup> Manuel de l'UIT-R – Systèmes de faisceaux hertziens numériques, Genève 1996, p. 152, Tableau 4.2.2-1.

<sup>(2)</sup> Fourni par le constructeur. On a constaté qu'au Royaume-Uni, de nombreuses liaisons dans cette bande utilisaient des antennes avec des gains de 25-32 dBi.



### Paramètres relatifs aux satellites

Les paramètres relatifs aux satellites utilisés pour les simulations sont résumés dans le Tableau 5.

TABLEAU 5  
Paramètres du SFS

Paramètre	Valeur
Fréquence de liaison descendante	18,8-19,3 GHz
Largeur de bande	500 MHz
Gain d'antenne dans les lobes latéraux	-3,2 dBi
Puissance de bruit du système	-117 dBW

#### 3.1.2.2.3 Méthodologie

L'étude comporte deux parties principales:

Dans la première partie, la zone étudiée a été saturée par des liaisons du service fixe et les résultats comparés avec ceux obtenus si le même calcul avait été effectué dans une zone où il y a un grand nombre de stations terriennes réceptrices. Ainsi, il est possible de vérifier si l'efficacité spectrale est maximisée grâce à l'utilisation en partage du spectre par deux services différents ou par espacement en fréquence des deux services.

Dans la deuxième partie de l'étude, un grand nombre de stations terriennes réceptrices sont installées dans un scénario de saturation en liaisons du service fixe. En analysant alors le nombre de stations terriennes réceptrices qui ne peuvent pas être installées, on obtient une indication sur l'étendue de la zone dans laquelle le niveau des brouillages est supérieur au critère d'évaluation des brouillages.

Il convient de noter que pour cette étude, on a utilisé seulement cinq des canaux du service fixe possibles existants et que le terme saturé se rapporte à la saturation de ces cinq canaux et non à une situation réelle de saturation qui apparaîtra si tous les canaux du service fixe étaient utilisés. Toutefois, l'analyse du rapport  $I/N$  est effectuée par hertz ce qui devrait être équivalent, pour l'analyse du rapport  $I/N$ , à utiliser tous les canaux du service fixe.

Pour les deux parties, on a utilisé une zone d'étude de  $10 \times 10$  km.

##### 3.1.2.2.3.1 Mise en place de liaisons du service fixe en présence d'un grand nombre de stations terriennes réceptrices

Dans cette première partie de l'étude, la première étape consiste à saturer la zone considérée afin de calculer le nombre de liaisons du service fixe qui pourraient être installées dans cette zone en cas d'absence de récepteur de satellite. La deuxième étape consiste à introduire un grand nombre de stations terriennes réceptrices et de déterminer le nombre de liaisons du service fixe qui pourraient alors être mises en place. La comparaison des résultats de ces deux étapes, du point de vue de l'efficacité spectrale, permet de savoir s'il est préférable d'avoir les applications du service fixe et du SFS à haute densité partageant le même spectre dans la même zone géographique ou s'il est préférable d'utiliser une segmentation de bande en attribuant des parties distinctes de spectre à chaque application.

### **Saturation de la zone considérée**

Dans cette première phase, l'utilisateur définit la zone rectangulaire à utiliser et les caractéristiques des systèmes radioélectriques puis les données de relief sont chargées comme paramètres d'entrée pour la simulation. Ensuite, on commence à installer les liaisons en choisissant des lieux aléatoires et en identifiant les tours situées dans la zone considérée qui sont en visibilité directe avec chacun des lieux choisis. Puis, on tente d'installer la liaison en calculant les niveaux de brouillage entre tous les systèmes radioélectriques dans la zone, en utilisant la Recommandation UIT-R P.452 pour tous les calculs de brouillage. Pour cela, l'outil essaie d'installer la liaison entre le point aléatoire et la tour en visibilité directe la plus proche, cette dernière étant à une distance égale au moins à la longueur de trajet, dans un des canaux disponibles, tout en respectant le critère de brouillage avec les liaisons déjà insérées. Le critère de brouillage correspond à une marge de brouillage cumulatif  $I/N$  de  $-6$  dB. Si ce processus échoue, il est répété avec la tour suivante la plus proche. On considère qu'il y a échec si après avoir essayé tous les canaux disponibles pour toutes les tours en visibilité directe, il n'est pas possible de placer une liaison et de choisir un nouveau point aléatoire. La simulation est terminée, si après 20 tentatives consécutives aucune liaison n'a pu être installée dans le réseau.

Après cette phase, on obtient le nombre maximum de liaisons du service fixe qui peuvent être installées dans la zone considérée. Ce résultat sera comparé avec le nombre de liaisons qui peuvent être installées lorsque des récepteurs de satellite sont présents.

### **Introduction de stations terriennes réceptrices et de liaisons du service fixe**

Afin de comparer l'effet de la présence de stations terriennes réceptrices dans une zone où on veut mettre en place un service fixe, dans la seconde partie de cette étude, on introduit un grand nombre de récepteurs satellites dans la zone considérée puis l'outil introduit autant de liaisons du service fixe que possible. Dans le processus de placement des liaisons, on ne vérifie pas seulement que la nouvelle liaison n'est pas brouillée par les liaisons existantes du service fixe mais que la nouvelle liaison ne cause pas de brouillage aux stations terriennes réceptrices et aux liaisons du service fixe déjà installées. Comme dans le cas précédent, le critère de brouillage correspond à une marge de brouillage cumulatif  $I/N$  de  $-6$  dB.

Ce processus est répété pour différents nombres de stations terriennes réceptrices introduites afin de voir l'évolution du nombre de liaisons du service fixe lorsque le nombre de stations terriennes réceptrices augmente.

#### **3.1.2.2.3.2 Mise en place de stations terriennes réceptrices dans un scénario où il y a saturation en liaisons du service fixe**

Bien que l'efficacité spectrale maximale peut être obtenue en obligeant les deux applications, le service fixe et le SFS à haute densité à partager le même spectre, cela peut conduire à une situation dans laquelle dans un certain pourcentage de la zone considérée le niveau de brouillage peut être supérieur à la marge de brouillage cumulatif des stations terriennes réceptrices.

Dans ce sens, la méthodologie décrite dans le présent paragraphe vise à répondre à cet aspect de la discussion et à déterminer quelle proportion de la zone d'étude considérée ne conviendra pas à l'installation de récepteurs du SFS à haute densité en raison des brouillages causés par les liaisons du service fixe.

### **Génération de la zone saturée en liaisons du service fixe**

Dans cette étape de la méthodologie, une zone saturée en liaisons du service fixe est générée de la même façon que dans la précédente méthodologie. Toutefois, dans le cas présent, le résultat de cette génération sera mémorisé et utilisé pour initialiser une simulation dans laquelle les stations terriennes réceptrices seront mises en place dans une zone déjà saturée en liaisons du service fixe.

### Introduction des stations terriennes réceptrices

Après avoir généré la zone saturée en liaisons du service fixe, le logiciel introduit des stations terriennes réceptrices. Dans le processus de placement des récepteurs des stations terriennes, chacune des stations terriennes réceptrices est introduite uniquement si elle n'est brouillée par aucune des liaisons du service fixe. L'insertion de nouvelles stations terriennes réceptrices continue jusqu'à ce qu'on ne puisse plus placer de stations terriennes réceptrices ou que le nombre de ces stations insérées a atteint un chiffre très élevé.

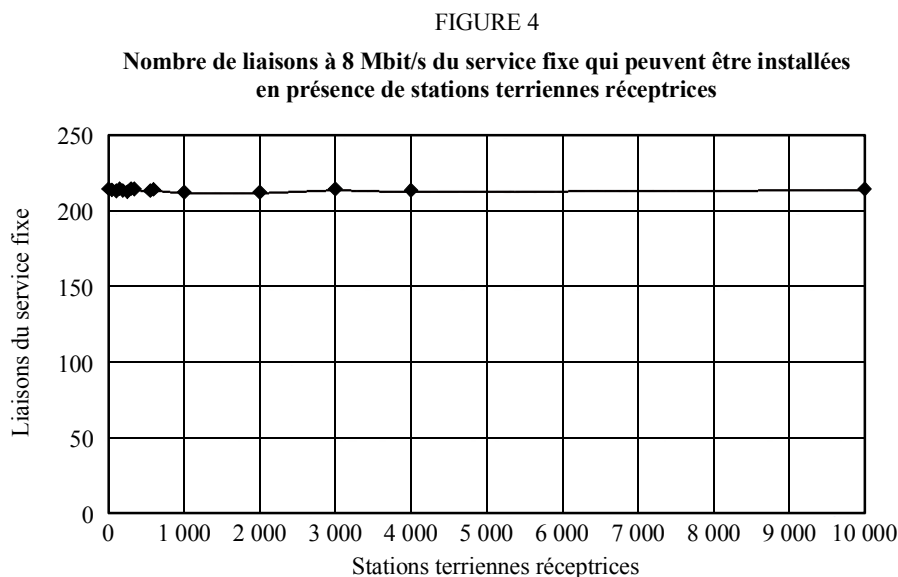
#### 3.1.2.2.4 Résultats

Conformément aux deux méthodologies décrites dans les paragraphes précédents, un ensemble de simulations a été effectué. Les résultats des simulations pour différents systèmes du service fixe sont résumés ci-dessous.

##### 3.1.2.2.4.1 Installation de liaisons du service fixe en présence d'un grand nombre de stations terriennes réceptrices déjà installées

#### Nombre de liaisons du service fixe à 8 Mbit/s pouvant être installées en présence de stations terriennes réceptrices

Dans la première phase de la simulation relative à ce scénario, on a calculé le nombre maximal de liaisons du service fixe qui pouvaient être installées dans la zone considérée. Cet exercice a montré que l'on pouvait installer 216 liaisons du service fixe pour une zone de  $10 \times 10$  km. Lorsqu'on introduit des stations terriennes réceptrices le nombre de liaisons du service fixe qui pourraient être mises en place pour un nombre de plus en plus grand de stations terriennes réceptrices est montré à la Fig. 4.



Rap 2046-04

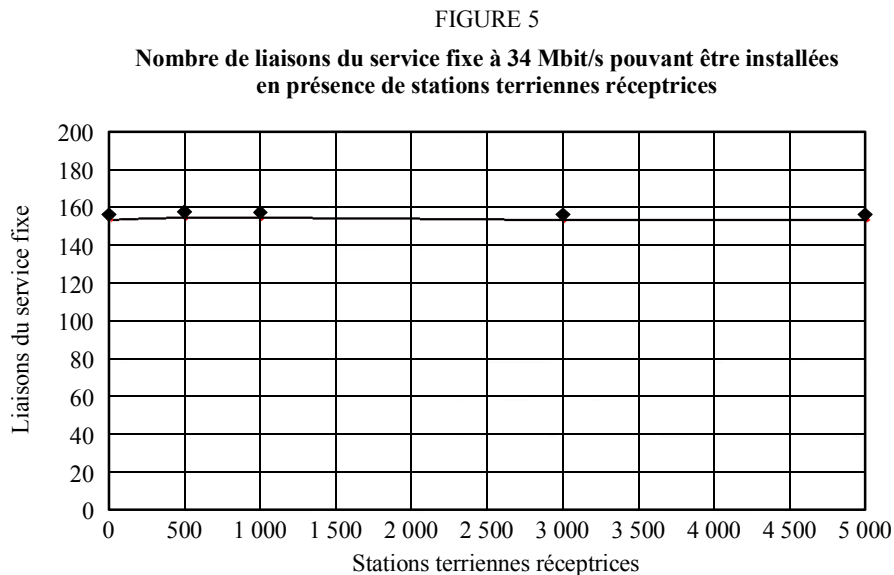
La Fig. 4 montre que la présence de récepteurs de satellite, même sous de très fortes concentrations (jusqu'à 100 récepteurs de satellite/km<sup>2</sup>), ne gêne pas la mise en place éventuelle de liaisons du service fixe à 8 Mbit/s, étant donné les différences minimales que l'on constate entre les simulations et qui sont dues au caractère aléatoire du choix des emplacements des liaisons du service fixe. Bien que la simulation n'ait pas porté sur un plus grand nombre de récepteurs, en raison d'un temps de traitement très long, on peut prévoir les mêmes résultats que ceux obtenus avec le SFS à haute densité.

Ces résultats montrent que l'effet de la présence des stations terriennes réceptrices sur les liaisons du service fixe à 8 Mbit/s ainsi que l'effet de la présence de liaisons du service fixe à 8 Mbit/s sur les stations terriennes réceptrices sont négligeables.

Ces résultats montrent donc que la façon la plus efficace du point de vue spectral d'attribuer des fréquences au SFS à haute densité et aux applications du service fixe (systèmes à 8 Mbit/s) dans des parties de la bande 18/19 GHz serait de partager le spectre entre les deux services.

### Nombre de liaisons du service à 34 Mbit/s pouvant être installées en présence de stations terriennes réceptrices

En suivant la méthode appliquée pour le cas de liaisons à 8 Mbit/s, on pourrait installer 156 liaisons du service fixe dans la zone considérée si celle-ci était exempte de stations terriennes réceptrices. Ainsi, l'effet de l'introduction de terminaux du SFS à haute densité est illustré à la Fig. 5.



Rap 2046-05

Tout comme dans le cas des liaisons à 8 Mbit/s, la présence de récepteurs de satellite sous de très fortes concentrations n'affecte pas l'éventuelle installation de liaisons du service fixe à 34 Mbit/s. Comme déjà expliqué, les différences minimales entre les simulations sont dues principalement au caractère aléatoire du choix de l'emplacement des liaisons du service fixe.

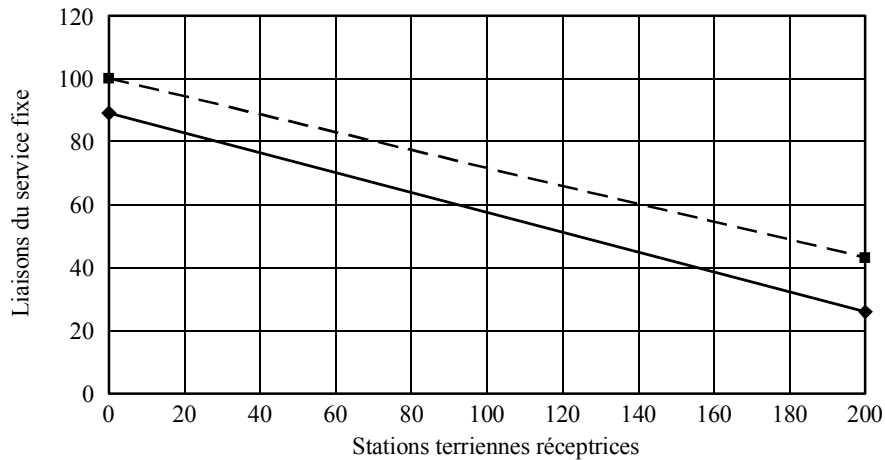
Ces résultats montrent donc que la façon la plus efficace du point de vue spectral d'attribuer des parties de la bande 18/19 GHz pour les applications du SFS à haute densité et du service fixe (systèmes à 34 Mbit/s) serait de partager le spectre entre les deux services.

### Nombre des liaisons du service fixe à 155 Mbit/s pouvant être installées en présence de stations terriennes réceptrices

Dans ce cas, le nombre de liaisons du service fixe qui pourraient être installées en l'absence de stations terriennes réceptrices est de 89 et on peut constater sur la courbe en continu de la Fig. 6 que, pour ce cas, la présence même d'un faible nombre de stations terriennes réceptrices engendrera une diminution du nombre de liaisons du service fixe pouvant être installées sans causer des brouillages inacceptables aux stations terriennes réceptrices.

FIGURE 6

Nombre de liaisons du service fixe à 155 Mbit/s qui peuvent être installées en présence de stations terriennes réceptrices



Rap 2046-06

Afin d'améliorer la situation, l'utilisation d'une commande automatique de puissance à l'émission (CAPE) comme technique de limitation a été incluse dans les simulations et on peut constater, sur la courbe en pointillés de la Fig. 6 que, même si une certaine amélioration a été obtenue, la présence de récepteurs de satellite engendrera toujours une diminution du nombre de liaisons du service fixe qui pourraient être installées sans causer des brouillages inacceptables aux stations terriennes réceptrices.

#### 3.1.2.4.2 Mise en place de stations terriennes réceptrices dans un contexte de saturation du nombre de liaisons du service fixe

##### Insertion de stations terriennes réceptrices dans une zone déjà saturée en systèmes du service fixe à 8 Mbit/s

L'analyse de toutes les tentatives d'installer un récepteur satellite et du nombre de tentatives avec échec montre que dans ce cas, dans un très faible pourcentage seulement de la zone considérée (0,35%) la limite de brouillage pour les stations terriennes réceptrices serait dépassée.

Cette toute petite zone de brouillage serait négligeable et, par conséquent, il serait possible de mettre en place des applications du service fixe et du SFS à haute densité dans la même zone géographique.

##### Insertion de stations terriennes réceptrices dans une zone déjà saturée en systèmes du service fixe à 34 Mbit/s

Dans ce cas, l'analyse des résultats montre que dans 35,7% de la zone considérée les brouillages dépasseront la limite acceptable pour les récepteurs du SFS à haute densité si aucune technique de CAPE n'est mise en oeuvre. Toutefois, si une telle technique était mise en oeuvre, la proportion de zone brouillée serait fortement diminuée et ramenée à 0,42%.

Compte tenu de l'importante diminution de la zone brouillée lorsque la commande CAPE est mise en oeuvre, on peut conclure que, pour l'implantation de systèmes à 34 Mbit/s, le partage cofréquence dans une même zone géographique constitue le meilleur choix de la mise en place d'applications du service fixe et du SFS à haute densité.

### **Insertion de stations terriennes réceptrices dans une zone déjà saturée en systèmes du service fixe à 155 Mbit/s**

Pour ce type de système du service fixe, les résultats montrent que, lorsque la commande CAPE n'est pas mise en oeuvre, dans 60,1% de la zone considérée, il y aura des brouillages dont le niveau sera supérieur au critère de brouillage. Toutefois, si la commande CAPE était mise en oeuvre, la proportion de zone avec brouillage serait ramenée à 32,3%.

Ceci, avec l'amélioration des résultats obtenus dans le précédent paragraphe lorsqu'on utilisait la commande CAPE, confirme que CAPE est une technique de limitation efficace permettant d'améliorer les conditions de partage lorsque des systèmes à haute densité du SFS et des systèmes du service fixe utilisent le même spectre dans la même zone géographique.

#### **3.1.2.2.5 Conclusions relatives à la deuxième simulation statistique**

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'en présence d'un grand nombre de systèmes du service fixe à 8 Mbit/s et à 34 Mbit/s ou d'un nombre faible ou moyen de systèmes du service fixe à 155 Mbit/s, il est possible d'installer un grand nombre de stations terriennes du service fixe par satellite à haute densité, dans les mêmes bandes à 18/19 GHz et dans la même zone géographique, en supposant que toutes les situations sont coordonnées site par site. De plus l'étude montre que, seulement dans un très petit pourcentage de la zone, il ne sera pas possible d'installer une station terrienne du SFS.

Les résultats montrent également que pour les systèmes du service fixe pris en considération, y compris les systèmes à 155 Mbit/s sous de fortes concentrations, l'utilisation du contrôle CAPE comme technique de limitation améliorera fortement les conditions de partage.

## **3.2 Résultats sans limitation**

Les études déterministes montrent que dans la bande 18,8-19,3 GHz un émetteur du service fixe causera des brouillages inacceptables aux stations d'utilisateur du SFS non OSG situées à proximité de stations du service fixe ou dans le faisceau principal de celles-ci à moins d'utiliser une technique de limitation des brouillages.

Les résultats des études basées sur la propagation avec affaiblissement en espace libre et sur différentes hypothèses (fouillis au sol, taille et forme de la zone considérée, etc.) montrent que les zones d'exclusion dans des zones urbaines (France, Canada et Argentine) peuvent varier en pourcentage entre 14 et 65% lorsque des techniques de limitation ne sont pas utilisées.

Les études ont montré que l'installation de stations d'utilisateur du SFS non OSG est de plus en plus restrictive lorsque la densité de systèmes du service fixe augmente. Les études qui ne prennent pas en compte les techniques de limitation des brouillages ou l'occultation due au relief et aux obstacles artificiels montrent que le pourcentage de la zone dans laquelle des stations du SFS non OSG pourraient être exclues est assez grand lorsqu'il y a déjà une forte densité de systèmes du service fixe.

D'autres études déterministes ont montré que le fouillis au sol et que le relief peuvent potentiellement réduire les zones d'exclusion du SFS non OSG d'un facteur important. Par exemple, l'étude précitée portant sur une zone de 14 × 14 km autour de Paris a montré que le pourcentage de zone d'exclusion pouvait être ramené de 20,6 à 5,2% si l'on prenait en considération le fouillis au sol. Dans l'étude, il n'a pas été tenu compte des réflexions ni de l'effet potentiel d'écran local sur le site et/ou de l'affaiblissement des réflexions.

Une étude statistique a montré que le nombre de stations d'utilisateur du SFS soumises à des brouillages était moins grand. Environ 1,5% (dans le cas le plus réaliste où les stations sont principalement réparties dans des zones urbaines denses) de ces stations terriennes réceptrices d'utilisateurs subiraient des brouillages provenant des 23 liaisons réelles à Paris et des 53 liaisons du service fixe en projet dans une cellule de 118 × 118 km centrée sur Paris.

Il a été noté que l'installation croissante d'émetteurs du service fixe dans la bande 18,8-19,3 GHz rendra de plus en plus difficile l'installation de stations d'utilisateur du SFS non OSG dans cette bande.

### 3.3 Résultats des mesures

Pour évaluer l'effet des liaisons du service fixe sur les stations terriennes du SFS non OSG, une équipe technique a procédé à une campagne de mesures dans différents lieux de Buenos Aires. Cette situation a fait l'objet d'une étude théorique.

Les mesures ont été effectuées dans les limites de la ville seulement, étant donné que c'est la zone la plus encombrée en liaisons hertziennes fixes. Ces mesures n'ont pas porté sur la banlieue (le Grand Buenos Aires).

Les mesures ont été effectuées sur des terrasses d'immeubles de différentes hauteurs répartis dans Buenos Aires, sous de bonnes conditions météorologiques et en plaçant les stations réceptrices de manière à obtenir une vue dégagée au-dessus des angles d'élévation de 45°.

La procédure utilisée a consisté à repérer les signaux de brouillage mesurables en faisant tourner l'antenne dans toutes les directions (360°), en enregistrant la fréquence, l'azimut et la largeur de bande. Ces valeurs ont été ensuite comparées avec celles obtenues à partir de calculs théoriques effectués en utilisant la base de données du régulateur national.

Les résultats ont été donnés pour chaque mesure par comparaison entre le signal brouilleur mesuré et celui calculé pour chaque emplacement.

- Huit emplacements sur les 14 (57%) ayant fait l'objet de mesures présentent un niveau de brouillage qui dépasse le critère de brouillage de  $-99,2$  dBm (fondé sur 6% du bruit de la station du SFS). Cette valeur correspond à la valeur de brouillage mesuré la plus élevée en chaque emplacement.
- Le signal maximum de brouillage pour toutes les mesures était inférieur (de 4 à 15 dB) à la valeur théorique calculée.
- Dans quatre cas (28,5%) le signal maximal de brouillage mesuré était dû à des réflexions, ce qui montrait que les immeubles peuvent être à l'origine de réflexions et d'occultation.
- Le brouillage dépend fortement de la hauteur à laquelle les mesures ont été effectuées. Les mesures ont été effectuées dans des terrasses situées entre 3 et 6 m au-dessus du niveau des trottoirs, le brouillage détecté était très faible ou nul, même lorsque la vue était bien dégagée autour.
- Le brouillage dépendait également fortement de la position de la station sur la même terrasse. Une modification de la position du récepteur pouvait éliminer un certain brouillage, tandis qu'une autre pouvait faire apparaître un brouillage.

On peut conclure que:

Même si le nombre de points où les mesures ont été effectuées n'est peut-être pas suffisant pour vérifier le pourcentage de la zone d'exclusion, la tendance du pourcentage montre que la coexistence entre le service fixe et le SFS non OSG n'est pas possible sans les recours à des méthodes de limitation des brouillages dans la zone urbaine étudiée. Il n'est pas possible de faire une comparaison directe avec les résultats des études statistiques étant donné que les zones étudiées étaient complètement différentes.

De plus, une campagne de mesures plus complète serait nécessaire pour caractériser l'environnement de brouillage réel dans une zone urbaine spécifique.

### **3.4 Conclusion fondée sur les études sans recours aux techniques de limitation des brouillages**

Compte tenu de la croissance rapide prévue de mise en place du service fixe, les administrations devraient tenir compte le plus tôt possible de ces facteurs lors des prises de décision concernant le spectre national. Il conviendrait également que les «communautés» du service fixe et du SFS prennent en considération ces facteurs lors de la conception de leurs systèmes.

En résumé, les conclusions suivantes ont été tirées:

- la mise en place ubiquiste de l'un des deux services (service fixe et SFS non OSG) dans la même bande et dans la même zone géographique peut s'avérer difficile à moins que des techniques de limitation puissent être employées;
- les administrations devraient en tenir compte lorsqu'elles prévoient de prendre des décisions relatives au spectre national.

## **4 Analyse des techniques susceptibles de faciliter le partage**

Du point de vue historique, les systèmes du SFS et du service fixe point à point ont partagé les mêmes bandes. La coordination de fréquence faisait intervenir un nombre relativement faible de liaisons terrestres et un nombre relativement faible de stations terriennes coûteuses. La coordination n'était pas une tâche indûment fastidieuse. Aujourd'hui, le développement des technologies permet aux opérateurs de systèmes à satellites et de systèmes terrestres d'offrir un service à un grand nombre d'utilisateurs finaux.

Cela conduit à la mise en place généralisée des deux types de service avec le résultat qu'il peut être très difficile pour l'un des services de se protéger vis-à-vis d'un si grand nombre de stations brouilleuses. A mesure que cette mise en place a lieu, la densité de stations émettrices réceptrices peut atteindre des niveaux qui pourraient rendre le partage cofréquence impossible. Il devient impossible de coordonner le nombre croissant de stations du service fixe et de stations d'utilisateur de systèmes à satellites. La zone d'une région dans laquelle les deux services peuvent subir des brouillages est de plus en plus étendue.

Pour traiter ce problème, certaines techniques ont été proposées pour faciliter l'utilisation du spectre 18/19 GHz par les émetteurs du service fixe et par les stations réceptrices du SFS non OSG fonctionnant dans la bande 18,8-19,3 GHz. Le § 4 est un résumé de l'efficacité potentielle des techniques proposées et de la faisabilité de leur mise en oeuvre.

### **4.1 CAPE dans les systèmes du service fixe**

#### **4.1.1 Efficacité potentielle de la technique**

L'utilisation de la CAPE dans le service fixe conduit à une diminution du potentiel de brouillage pour les récepteurs du SFS due au fait que l'émetteur du service fixe fonctionne à sa puissance maximale uniquement pendant de courtes périodes de temps. Dans des conditions de propagation en atmosphère claire, l'avantage théorique qu'on peut en tirer est une réduction de puissance comprise entre 9 et 15 dB de l'émetteur du service fixe en fonction de la plage d'action de la commande CAPE du service fixe.

Ces techniques pourraient réduire l'étendue des zones d'exclusion créées par les émetteurs du service fixe pendant les conditions de ciel clair, mais ne seraient pas suffisantes pour réduire l'étendue de ces zones en vue de permettre l'installation ubiquiste des stations d'utilisateur du SFS non OSG. Dans les cas où le récepteur du SFS est situé très en dehors de l'axe de pointage du service fixe, il peut y avoir des cas où l'évanouissement dû à la pluie perturberait la transmission du service fixe de manière si importante qu'elle requerrait une puissance supplémentaire de la



commande CAPE, mais un tel évanouissement n'occasionnerait pas nécessairement un affaiblissement du signal sur le trajet entre l'émetteur du service fixe et la station d'utilisateur du SFS. Il y a également des cas inverses où la présence de pluie sur les trajets de brouillage uniquement abaisserait le niveau de brouillage sans induire une augmentation de la puissance d'émission du service fixe.

Dans des conditions de ciel clair qui représentent le brouillage à long terme, la commande CAPE apporte un avantage direct sur le niveau  $I/N$  du récepteur du SFS. Dans des conditions d'évanouissement dues à la pluie, en fonction de la position relative de l'émetteur du service fixe, de la station du SFS et de la zone de pluie, il peut y avoir certains cas où l'activation de la commande CAPE sur la liaison du service fixe peut conduire à une augmentation des brouillages comparativement aux conditions de ciel clair. Il peut y avoir également certains cas où la commande CAPE ne sera pas activée alors que la pluie sera située sur le trajet de brouillage, abaissant ainsi le niveau des brouillages causés au récepteur du SFS. En principe, la zone principale de brouillage d'une liaison du service fixe se ramène à une région le long du faisceau de l'antenne d'émission. Ainsi, on considère que dans la plupart des cas, les conditions de propagation en direction de la station brouillée du SFS sont assez similaires aux conditions qui règnent sur la liaison du service fixe. Toutefois, les niveaux de brouillage dans des conditions d'évanouissement dues à la pluie seront de toute manière inférieurs au niveau du brouillage permanent sans commande CAPE.

Une étude par simulation sur la zone urbaine de Paris montre que la mise en oeuvre de la commande CAPE par le service fixe diminue de façon importante les zones d'exclusion autour des émetteurs du service fixe (l'étude a porté sur 23 liaisons du service fixe, qui utilisent actuellement une commande CAPE avec une plage d'action de 9 dB). Les résultats de cette étude pour différentes plages d'action de la commande CAPE sont résumés dans le Tableau 6.

TABLEAU 6

**Effet de la commande CAPE sur les zones d'exclusion**

	<b>Pas de CAPE (%)</b>	<b>Plage d'action de 9 dB de la CAPE (%)</b>	<b>Plage d'action de 15 dB de la CAPE (%)</b>
Pourcentage des zones d'exclusion dans une zone de 14 × 14 km	5	2,3	1
Pourcentage des zones d'exclusion affectées dans des zones urbaines denses	14	6,5	2,7

Cette étude montre que l'utilisation de la commande CAPE par le service fixe est une technique de limitation des brouillages qui diminue la taille des zones d'exclusion autour des émetteurs du service fixe.

Pour déterminer les avantages de cette technique, on a supposé un fonctionnement parfait de la boucle d'asservissement CAPE.

Certains constructeurs ont indiqué que le temps de réponse de la commande CAPE est de l'ordre de 20 ms et que la vitesse de montée est d'au moins 20 dB/s.

#### **4.1.2 Faisabilité de la technique**

Il a été noté que la mise en oeuvre de la commande CAPE augmente le coût de l'équipement.

Compte tenu de son coût de mise en oeuvre, la commande CAPE peut ne pas être adaptée à l'utilisation de stations du service fixe de faible coût et ubiquiste. Toutefois, dans de nombreuses normes déjà (par exemple celles développées par l'Institut européen des normes de télécommunication) la commande CAPE est utilisée, du moins optionnellement. A partir du 1er janvier 2003, la commande CAPE est devenue obligatoire dans cette bande dans certains pays européens. De nombreux constructeurs fournissent des équipements disposant de la commande CAPE dans cette bande. Toutefois, la plupart des systèmes du service fixe actuellement en place ne sont pas équipés de cette commande. Une mise à niveau du matériel existant pourrait s'avérer difficile.

L'utilisation de la commande CAPE rend les liaisons du service fixe plus sensibles aux brouillages causés par les satellites du SFS et les systèmes du service fixe.

#### **4.2 Assignation dynamique des canaux (ADC) dans les systèmes du SFS**

Cette technique a été étudiée comme technique de limitation possible, toutefois, les études ont conclu que tout en étant théoriquement réalisable, la mise en oeuvre de la technique ADC n'est pas possible dans la pratique pour les réseaux du SFS à 18/19 GHz avec stations terriennes ubiquistes.

#### **4.3 Désignation d'un spectre distinct pour le service fixe et le SFS non OSG**

Le partage cofréquence entre les systèmes du service fixe et les stations ubiquistes d'utilisateur du SFS non OSG implantés dans une même zone géographique sans utilisation d'autres techniques de limitation, pose de nombreuses difficultés: c'est pourquoi, dans les paragraphes ci-dessous, on étudie l'efficacité et la faisabilité potentielle de l'attribution d'un spectre distinct sans chevauchement à chacun de ces deux services dans la bande 18/19 GHz.

##### **4.3.1 Efficacité potentielle de cette solution**

Du point de vue de l'évitement des brouillages, cette solution est efficace et permet aux stations du service fixe et du SFS non OSG d'être mises en place de façon ubiquiste et d'éviter l'inconvénient et les contraintes supportés par l'un des services dans le cas d'un fonctionnement cofréquence en recourant aux techniques de limitation des brouillages. Une coordination ne serait pas nécessaire entre les stations des deux services et le risque de brouillage serait inexistant s'il n'y a pas de chevauchement de fréquences, et en conséquence la mise en place de stations de ces services en serait facilitée. Cela permettrait d'éviter la charge administrative représentée par la coordination. La désignation de fréquences distinctes peut permettre d'obtenir une utilisation efficace du spectre, d'avoir une qualité de service élevée à faible coût sans tenir compte du lieu d'implantation et aussi d'offrir une certaine souplesse aux utilisateurs des deux services concernés, plus particulièrement par exemple dans la bande 18,8-19,3 GHz où la mise en place de stations ubiquistes est prévue. Un inconvénient est qu'une largeur de bande moins grande serait disponible pour chacun des deux services. Dans les cas où la mise en place ubiquiste de stations du service fixe et du SFS n'est pas envisagée, toutefois, la désignation de fréquences distinctes est une mesure qui peut s'avérer non adaptée.

Pour l'étude de la désignation de fréquences distinctes pour le service fixe et le SFS non OSG, on devrait tenir compte du fait que la bande 18,8-19,3 GHz (et la bande de liaison montante correspondante 28,6-29,1 GHz) est l'unique bande identifiée par l'UIT dans laquelle les réseaux des liaisons de service du SFS non OSG peuvent être exploités sans avoir à tenir compte de la protection de l'arc OSG dans sa totalité.

### 4.3.2 Analyse statistique de l'impact de cette technique sur le service fixe

Une étude statistique a été réalisée en vue d'examiner les avantages comparatifs de deux approches, à savoir: imposer une coordination entre des stations d'utilisateur du SFS à haute densité avec les stations du service fixe dans un pays donné ou éviter une telle coordination nationale en déployant le service fixe dans des bandes qui ne sont pas grevées par un partage avec le SFS à haute densité, ou mettre en place le SFS à haute densité dans des fréquences non occupées par le service fixe. La question théorique explorée ici est la suivante: «si les gestionnaires du spectre national disposent de 1 000 MHz dans le spectre 18/19 GHz à partager entre les systèmes du service fixe et les systèmes du SFS à haute densité dans leur pays, obtiendra-t-on une meilleure efficacité spectrale globale en imposant aux deux types de systèmes de partager les 1 000 MHz ou en attribuant 500 MHz à chaque type de système?»

#### 4.3.2.1 Approche

Le raisonnement algébrique ci-dessous a été utilisé pour constituer le cadre de base d'une étude par simulation:

1. Si le service fixe dispose de 1 000 MHz non utilisées par le SFS à haute densité, le service fixe pourrait utiliser au maximum à saturation  $2Y$  liaisons de largeur de bande donnée.
2. Si la bande de 1 000 MHz était gérée de manière à ce que le service fixe soit exploité dans 500 MHz non utilisables par les systèmes du SFS à haute densité (et si les systèmes du SFS à haute densité sont exploités dans les autres 500 MHz non utilisables par les systèmes du service fixe), le service fixe pourrait disposer à saturation de  $Y$  liaisons de même largeur de bande que dans 1).
3. Toutefois, si le service fixe et le SFS à haute densité partageaient 1 000 MHz de spectre sur une base équitable, le service fixe pourrait utiliser  $2Y\alpha$  liaisons,  $\alpha$  étant un facteur qui ne peut être supérieur à 1. Si la valeur de  $\alpha$  est inférieure à 0,5, l'utilisation du spectre par le service fixe serait inférieure à  $Y$  et, par conséquent, il serait mieux pour le service fixe d'exploiter avec seulement la moitié du spectre à condition que celui-ci ne soit pas occupé par des systèmes de l'autre type. Si la valeur de  $\alpha$  est supérieure à 0,5, une analyse de l'utilisation du SFS à haute densité serait requise pour déterminer la méthode de partage qui se traduirait par l'utilisation la plus efficace des 1 000 MHz.

#### 4.3.2.2 Description générale de la méthode de simulation

Une estimation du facteur d'utilisation du service fixe  $\alpha$  a été obtenue par simulation de Monte Carlo comme suit. D'abord, on procède à un prétraitement de simulation pour générer une base de données de déploiement du service fixe saturée précoordonnée (intraservice). Pour cela, on implante de façon aléatoire des stations cofréquence du service fixe soumises à une contrainte de brouillage cumulatif intraservice (pour les trajets aller et retour) jusqu'à ce qu'il devienne pratiquement impossible pour la simulation de placer de façon aléatoire d'autres stations du service fixe dans la même zone géographique dont le diamètre est de 20 km. L'environnement saturé est défini comme étant le point où, pour 10 000 essais, il n'a pas été possible de placer une liaison du service fixe en un point aléatoire avec un azimuth aléatoire du faisceau principal d'antenne et une longueur de liaison elle aussi aléatoire, sans violer le critère de brouillage de cette station ou d'autres stations. Les critères choisis sont basés sur un rapport brouillage à source unique/bruit de  $-10$  dB et un rapport  $I/N$  cumulatif de  $-6$  dB (correspondant à une dégradation de 1 dB de la marge). Le résultat de ces prétraitements est un ensemble d'implantations saturées du service fixe à utiliser dans les traitements subséquents de simulation service fixe/SFS à haute densité. La procédure de simulation pour créer les environnements échantillons de service fixe saturés a été exécutée 2 755 fois, ce qui s'est traduit par une densité moyenne de station de 49 par région de 20 km de diamètre (0,156 stations/km<sup>2</sup>).

Ensuite, l'outil de simulation service fixe/SFS à haute densité est utilisé pour placer alternativement des stations du service fixe et du SFS à haute densité jusqu'à ce que l'environnement de double service parvienne à saturation. Ce processus commence en choisissant aléatoirement une station de l'une des bases de données de prétraitement du service fixe pour commencer un traitement de Monte Carlo du service fixe/SFS à haute densité. Puis, un lieu d'implantation d'un récepteur de station d'utilisateur du SFS à haute densité est choisi aléatoirement et on calcule le brouillage reçu émanant de l'émetteur du service fixe. En supposant que ce brouillage est inférieur au critère de brouillage du récepteur du SFS à haute densité ( $I/N$  total  $< -9,1$  dB), la station du SFS à haute densité est placée en cet endroit et la simulation se poursuit avec l'étape suivante. Si le seuil de brouillage est dépassé, dans la simulation on choisit de façon aléatoire un autre lieu pour le récepteur du SFS à haute densité et ainsi de suite jusqu'à ce que le brouillage dépasse ce seuil.

A l'étape de traitement suivante, une autre station du service fixe est choisie, avec la contrainte suivante: cette station ne doit pas provoquer un dépassement du critère de brouillage total au niveau d'une station du SFS à haute densité existante. Le processus de simulation continue de cette manière en plaçant aléatoirement des stations du service fixe et du SFS à haute densité alternativement jusqu'à ce que la base de prétraitement du service fixe soit épuisée ou jusqu'à ce que le placement d'une station supplémentaire du service fixe ne soit plus possible. Pour chaque traitement de Monte Carlo service fixe/SFS à haute densité, on calcule la valeur de  $\alpha$  (facteur d'utilisation du service fixe). Cette procédure a été répétée 549 fois pour déterminer une valeur moyenne de  $\alpha$ .

Toutefois, il a été noté que dans cette étude on n'a utilisé aucun type de donnée topologique ou de profil de bâtiment, ni recouru à d'autres techniques de limitation (par exemple, effet d'écran du site) qui permettraient d'augmenter la densité d'implantation aussi bien dans les calculs concernant le service fixe seulement que dans les calculs concernant le partage service fixe/SFS à haute densité. Des études avec utilisation des techniques de limitation seraient requises pour déterminer si l'impact sur l'amélioration du facteur d'utilisation du service fixe était augmenté, diminué ou inchangé.

On a noté que:

- dans l'étude on a utilisé la Recommandation UIT-R S.465 pour les diagrammes d'antenne du SFS alors qu'il avait été indiqué que l'utilisation de la Recommandation UIT-R S.1428 pouvait réduire le gain de 1,8 dB;
- le brouillage du service fixe dans le canal adjacent pouvait avoir un impact important sur l'implantation des stations du service fixe pour des canaux larges (par exemple 55 ou 110 MHz), mais il a été souligné que cela réduirait la densité d'implantation que l'on pouvait obtenir dans les environnements de saturation en service fixe (pas de SFS à haute densité) et des environnements de partage. Un complément d'étude serait nécessaire pour évaluer la réduction relative dans ces deux cas;
- dans un environnement de partage, lorsqu'une liaison ne peut être implantée en raison des brouillages causés aux stations du SFS, aucune tentative n'a été faite pour trouver une autre liaison de remplacement. Toutefois, on a argumenté que toute nouvelle liaison pourrait, en réalité, provoquer des brouillages dans d'autres liaisons du service fixe dans un environnement saturé en service fixe et qu'avec un nombre suffisant d'essais statistiques les résultats finaux convergeraient vers les mêmes valeurs. Un complément d'étude serait requis pour valider cette affirmation.

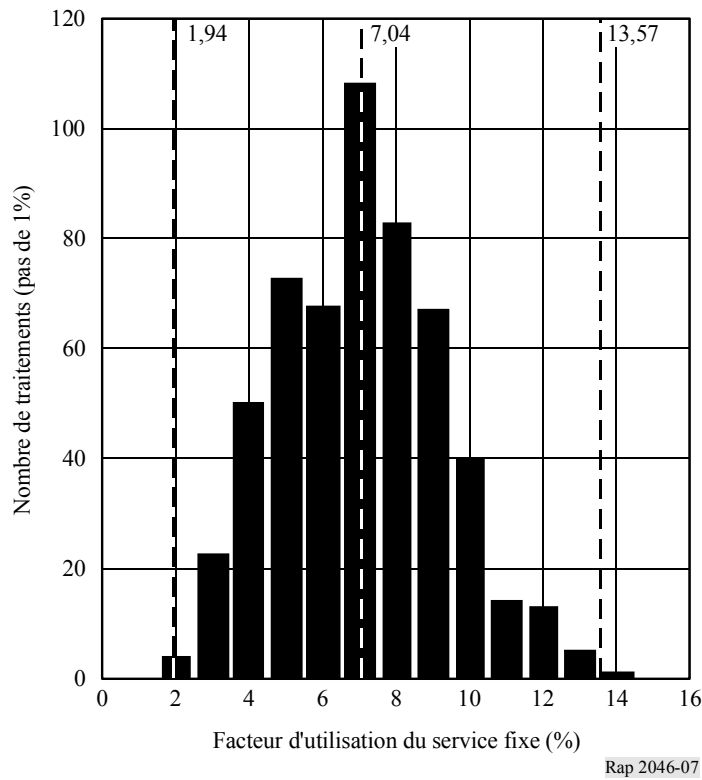
Il a été proposé d'évaluer l'efficacité globale du spectre incluant les deux types de systèmes pour cette étude.

#### 4.3.2.3 Résultats

Les résultats des traitements de Monte Carlo (c'est-à-dire en plaçant alternativement des systèmes du service fixe et des systèmes du SFS à haute densité) sont résumés sous forme d'histogramme dans la Fig. 7. La hauteur de chaque barre verticale dans la Figure indique le nombre de traitements de Monte Carlo qui se sont traduits par le facteur d'utilisation du service fixe correspondant.

FIGURE 7

Résultats d'utilisation du service fixe pour 549 traitements de Monte Carlo (simulant une implantation à taux égal avec le SFS à haute densité)



Rap 2046-07

Ces résultats montrent que, en moyenne, le taux d'utilisation du spectre du service fixe obtenu lorsque la totalité des 1 000 MHz est partagée de manière équitable avec le SFS à haute densité n'est que de 7% (le taux d'utilisation le plus élevé du service fixe, obtenu en forçant le partage service fixe/SFS à haute densité sur tous les traitements de Monte Carlo, était inférieur à 14% alors que la valeur la plus faible était inférieure à 2%). Par ailleurs, si les gestionnaires de spectre devaient prendre ces mêmes 1 000 MHz et donner 500 MHz au service fixe non utilisables par le SFS à haute densité, le taux d'utilisation du spectre par le service fixe serait de 50% de ce qu'il serait si le service fixe avait accès à la totalité de la bande de 1 000 MHz non utilisables par le SFS à haute densité. Cela représente une amélioration supérieure à 7 fois (50% par rapport à 7%) pour le service fixe en moyenne avec accès à la moitié du spectre comparé au cas où le spectre est non utilisable pour le SFS à haute densité. Ces résultats sont illustrés dans le Tableau 7.

TABLEAU 7

Facteurs d'utilisation moyens du service fixe

	Facteur d'utilisation moyen du spectre par le service fixe, $\alpha$ (par rapport à celui qui serait obtenu avec un accès sans contrainte aux 1 000 MHz)
Accès sans contrainte du service fixe à 500 MHz (non utilisables par les systèmes du SFS à haute densité)	50%
Le service fixe doit partager de manière équitable les 1 000 MHz avec le SFS à haute densité	7%
Amélioration du facteur d'utilisation du spectre pour les services fixes avec accès sans contrainte à 500 MHz par rapport à l'accès avec contrainte aux 1 000 MHz:	<b>7.10</b> (rapports des résultats ci-dessus)

Les études précédentes qui n'ont pas tenu compte des techniques de limitation ont montré que les stations d'utilisateur du SFS à haute densité ne sont pas compatibles avec des stations du service fixe émettant sur les mêmes fréquences et dans la même zone géographique. Par conséquent, il serait mieux pour les systèmes du SFS à haute densité d'avoir accès à 500 MHz non utilisables par le service fixe plutôt que de devoir effectuer une coordination à l'échelle nationale avec le service fixe dans une bande de 1 000 MHz. De plus, les résultats des études par simulation actuelles montrent qu'on obtiendrait une bien meilleure utilisation du spectre par le SFS si celui-ci avait accès à 500 MHz non utilisables par le SFS à haute densité, plutôt que d'avoir un accès en partage à une bande de 1 000 MHz. A partir de ces résultats, on peut conclure que, pour les pays qui souhaitent bénéficier de la présence de systèmes du SFS à haute densité, la meilleure solution consiste à avoir des parties de la bande 18/19 GHz non utilisées par le service fixe et d'autres parties de cette bande non utilisées par les systèmes du SFS à haute densité, plutôt que de procéder à des coordinations des deux types de systèmes, si tel était le choix de l'administration. Toutefois, il convient de noter que cette étude n'a pas pris en considération les trajets de propagation réels (avec l'affaiblissement dû au relief ou aux obstacles artificiels) qui auraient réduit l'amélioration illustrée dans le Tableau 7. Certaines administrations ne considèrent pas une séparation de fréquences entre les systèmes du service fixe et ceux du SFS à haute densité comme une option.

### 4.3.3 Faisabilité de cette solution

La désignation d'un spectre distinct dans la bande 18/19 GHz afin de donner au SFS à titre exclusif la bande 18,8-19,3 GHz conduit à une perte minimale de spectre de 25% pour le service fixe comparé à l'utilisation sans contrainte de la totalité de la bande de 2 GHz (17,7-19,7 GHz) par ce service. Lorsque l'on considère l'appariement des canaux duplex, cette perte pourrait atteindre 50% sauf si un plan différent de disposition des canaux du service fixe pouvait être mis en oeuvre dans la bande duplex correspondante. A moins qu'un grand nombre d'unités ne soient installées ou que de nombreuses administrations adoptent le nouveau plan de disposition des canaux, des économies d'échelle ne pourront être obtenues. La désignation d'un spectre distinct pour chaque service permet aux administrations qui n'utilisent pas actuellement cette bande de pouvoir déployer sans contrainte le SFS non OSG et le service fixe.

Dans les pays où le service fixe est déjà mis en oeuvre dans cette bande, par exemple dans de nombreux pays européens, l'introduction de cette technique nécessiterait la suppression ou la resyntonisation d'un très grand nombre de liaisons de la bande 18,8-19,3 GHz et de sa bande appariée (représentant la moitié de la bande totale) ce qui peut ne pas être réalisable en raison de l'absence de spectre disponible dans d'autres bandes, et aurait des conséquences financières énormes. Il convient de noter que, s'il est nécessaire de déplacer les liaisons du service fixe vers des fréquences plus élevées (où les conditions de propagation sont différentes (voir le 4.3.4)), cela pourrait conduire à des longueurs de bond différentes et par conséquent à revoir complètement la structure du réseau.

Les coûts de transfert ou de resyntonisation des systèmes existants du service fixe pourraient être minimisés en supprimant progressivement les systèmes existants sur une certaine période, pays par pays, ce qui est acceptable pour le service fixe et le SFS.

Les coûts de transfert ou de resyntonisation des futurs systèmes du service fixe pourraient être minimisés en:

- installant tous les nouveaux systèmes conformément à un nouveau plan de disposition des canaux ou dans d'autres bandes tout en évitant la partie de la bande réservée au SFS non OSG;
- utilisant un nouveau plan de disposition des canaux;
- utilisant le nouveau plan de disposition des canaux lors de la mise à niveau des systèmes existants avec des équipements à plus grande efficacité spectrale.

#### 4.3.4 Effet de la pluie sur le choix des bandes pour l'infrastructure du service fixe des réseaux mobiles

Une étude des effets de l'affaiblissement dû à la pluie sur le choix des bandes de fréquences en vue de définir des réseaux d'infrastructure du service fixe a été effectuée. Le calcul de la marge pour une longueur de bond donnée a montré que la bande 18/19 GHz joue le rôle des bandes des 23 et 38 GHz pour ces réseaux d'infrastructure, en particulier pour l'infrastructure du service fixe point à point pour les réseaux mobiles, dans les zones géographiques où l'affaiblissement dû à la pluie est élevé.

Les calculs sont basés sur l'utilisation de la Recommandation UIT-R P.530, avec une disponibilité minimale de 99,99%, et de la Recommandation UIT-R P.676. Les systèmes du service fixe considéré sont des systèmes point à point et leurs caractéristiques sont reprises de la Recommandation UIT-R F.758. Dans certains cas, les caractéristiques utilisées par les systèmes actuellement en exploitation (en Europe ou dans les départements français d'outre-mer) ont été utilisées. La marge,  $M$ , est calculée comme suit:

$$M = P_r - P_{r,min} = (G_e \cdot G_r \cdot P_e) / (L_T(p) \cdot FL) - P_{r,min}$$

où:

$P_{r,min}$ : niveau minimal à la réception (en général pour un TEB de  $1 \times 10^{-6}$ )

$G = G_e = G_r$ : gain d'antenne à l'émission et à la réception.

$P_e$ : puissance d'entrée à l'émission

$L_T(p)$ : affaiblissement total (pluie à  $p\%$ , gaz, diffraction)

FL: affaiblissement d'alimentation (*feeder loss*) (total: à l'émission et à la réception)

Le résultat d'une comparaison directe entre la fourchette disponible de longueur de bond, dans la bande 18/19 GHz en Zone Q, et dans les bandes des 23 et 38 GHz en Zone E, est donné à la Fig. 8 en utilisant les caractéristiques du Tableau 8.

TABLEAU 8

#### Caractéristiques des systèmes du service fixe dans diverses bandes de fréquences

Fréquence (GHz)	18/19	23	38
FL (dB)	3	4	4
$P_e$ (dBW)	-5	-5	-5
$G$ (dBi)	45	46	46
$P_{r,min}$ (dBW)	-102,4	-108	-108

Cette étude théorique a été confirmée par les données fournies par un opérateur qui a mis en place une infrastructure du service fixe pour les réseaux mobiles en France métropolitaine et dans les départements français d'outre-mer. Comme le montre la Fig. 9, cet opérateur n'utilise pas les bandes des 23 et 38 GHz à cause de l'affaiblissement dû à la pluie. La bande de fréquences la plus élevée est la bande 18/19 GHz.

FIGURE 8

Comparaison entre la fourchette de longueurs de bond disponible dans les bandes 18/19 GHz en Zone Q, 23 et 38 GHz en Zone E

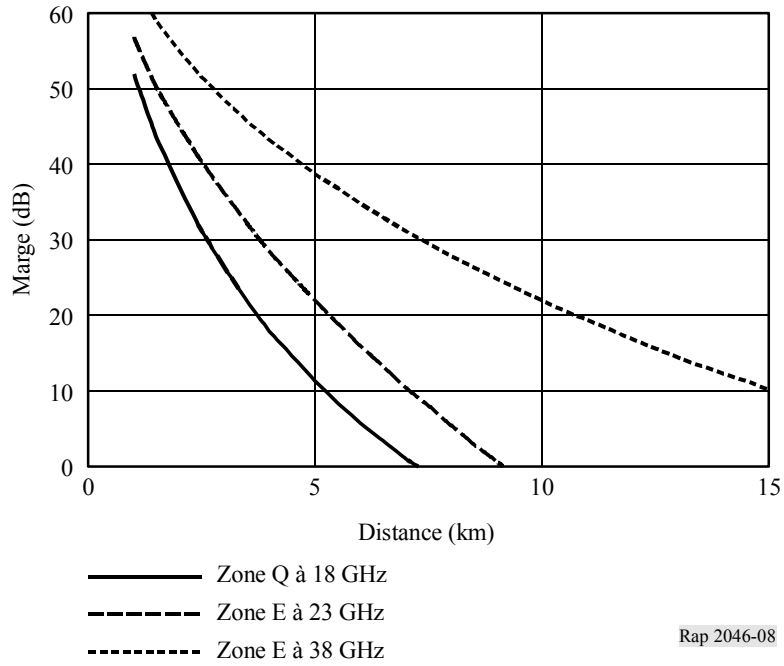
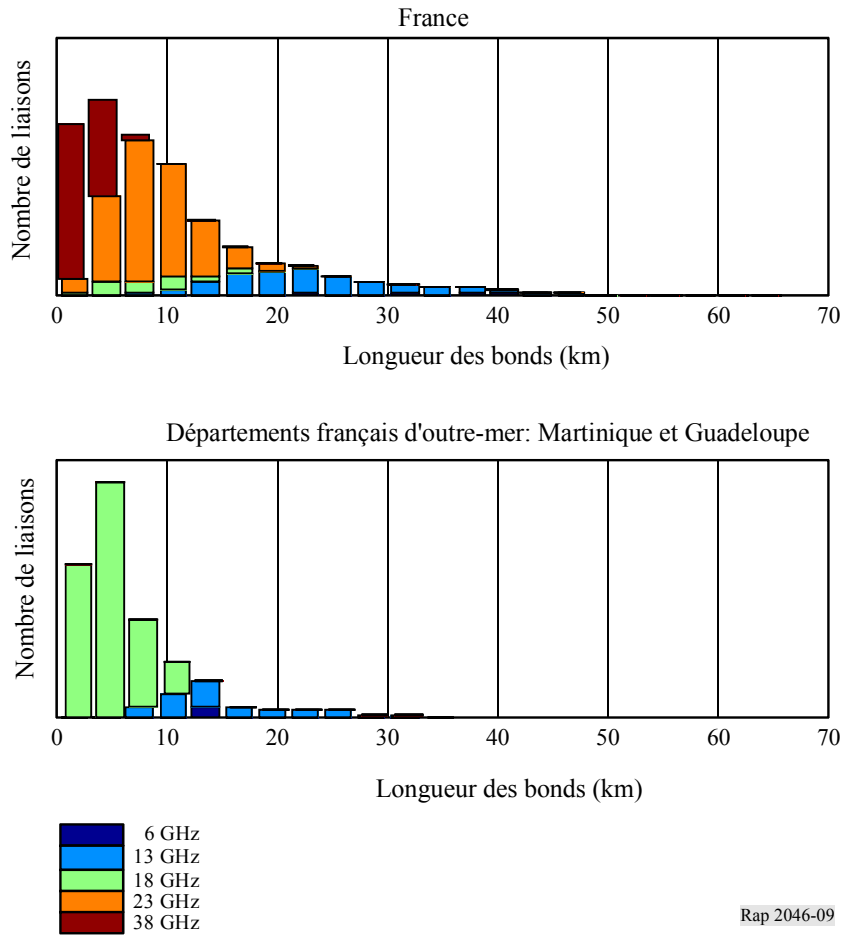


FIGURE 9

Distribution des liaisons pour les infrastructures de réseaux mobiles en métropole française et dans les départements français d'outre-mer (Martinique et Guadeloupe)





En conséquence, cette étude montre les risques associés à la non-autorisation pour le service fixe d'utiliser la totalité de la bande 17,7-19,7 GHz dans le cas d'une segmentation de cette dernière.

#### **4.4 Effet d'écran du site et placement de la station du SFS**

Etant donné que les obstacles sur le trajet de brouillage allant de l'émetteur du service fixe au récepteur du SFS peuvent avoir un effet d'occultation important sur le signal brouilleur, on peut utiliser plusieurs techniques pour améliorer le partage:

- L'utilisation de l'effet d'écran consiste à placer intentionnellement le récepteur du SFS dans des lieux où les signaux brouilleurs potentiels causés par le service fixe seraient occultés par l'environnement alentour.
- La recherche de site consiste à trouver un lieu optimal en termes de brouillage dans la zone disponible pour l'exploitation d'une station du SFS.

##### **4.4.1 Efficacité potentielle de la technique**

L'analyse de la technique de limitation par effet d'écran du site montre que l'installation de stations d'utilisateur non OSG en des lieux qui offrent une forte isolation vis-à-vis des signaux brouilleurs du service fixe, se traduit par une visibilité des satellites non OSG insuffisante. Les tentatives d'implantation des antennes de récepteur non OSG dans des positions où il y a visibilité totale des satellites se traduisent par une absence d'isolation vis-à-vis des brouillages ou un affaiblissement négligeable de ceux-ci. La conclusion de cette analyse est que l'effet d'écran du site n'est pas une technique de limitation viable permettant d'assurer la coexistence du service fixe et du SFS non OSG dans la bande 18,8-19,3 GHz. Les résultats d'une campagne de mesures ont montré que le brouillage dépendait fortement du lieu d'implantation spécifique d'une station du SFS sur une terrasse.

En ce qui concerne le site d'implantation des stations du SFS, dans des cas où les obstacles sur le trajet de brouillage entre l'émetteur du service fixe et le récepteur du SFS peuvent avoir un important effet d'occultation du signal brouilleur principal et où le brouillage est dû à la diffraction ou à la réflexion, le placement des stations peut améliorer la situation. Par conséquent, en pareille situation, une implantation soignée d'une station du SFS pourrait être considérée comme un moyen permettant de diminuer les brouillages causés par l'émetteur du service fixe.

##### **4.4.2 Faisabilité de la technique**

Dans certains pays, la législation impose de nombreuses restrictions sur l'implantation des antennes au sommet des immeubles. Par exemple, une législation interdit l'implantation de tout équipement (même les équipements de conditionnement d'air) qui dépasse de plus de 30 cm de la façade des immeubles. A l'évidence, cela rend très difficile l'utilisation de la technique de limitation par effet d'écran du site. Les technologies qui font appel à l'effet d'écran du site et qui permettent à la station du SFS d'avoir une occultation totale des brouillages peuvent être difficiles à utiliser en raison des contraintes techniques et des réglementations municipales ou de celles relatives à l'occupation des sols.

Comme l'optimisation de la position se fait pendant l'installation de la station du SFS non OSG, l'environnement de brouillage doit être stable. Lorsque cette technique est applicable, le coût de l'installation peut augmenter en raison de la nécessité d'analyser l'environnement de brouillage. Etant donné qu'il s'agit seulement de trouver le lieu optimal en termes de brouillage dans la zone disponible pour l'exploitation de la station du SFS, cette technique est applicable, et peut présenter des avantages pour le SFS.

## **4.5 Antennes du service fixe à hautes performances**

Une antenne du service fixe à hautes performances présentera de faibles gains dans les lobes latéraux et dans le lobe arrière.

### **4.5.1 Efficacité potentielle de la technique**

Cette technique peut diminuer la taille des zones d'exclusion créées par les émetteurs du service fixe, mais ne diminue pas nécessairement leur longueur, dimension la plus importante d'une zone d'exclusion. Cette technique n'apporte pas d'amélioration importante en termes de capacité à installer de manière ubiquiste des stations d'utilisateur du SFS non OSG, en particulier dans des zones à forte densité de stations du service fixe (par exemple dans les zones urbaines) et où les zones d'exclusion de plusieurs émetteurs se chevauchent.

### **4.5.2 Faisabilité de la technique**

Cette technique est applicable mais ne diminue pas de manière importante les brouillages.

## **4.6 Antennes du service fixe à gain élevé**

### **4.6.1 Efficacité potentielle de cette solution**

L'utilisation d'antennes du service fixe présentant un gain plus élevé permet d'abaisser la puissance de sortie de l'émetteur du service fixe et ainsi de réduire la taille de la zone dans laquelle les récepteurs du SFS peuvent subir des brouillages. Le doublement du diamètre de l'antenne de l'émetteur et du récepteur d'une liaison et, en conséquence, l'abaissement de la puissance d'émetteur de façon à ce que les caractéristiques de la liaison ne soient pas modifiées, diminuera la taille de la zone de brouillage théorique par un facteur voisin de huit.

### **4.6.2 Faisabilité de cette solution**

Cette technique est applicable aux nouvelles liaisons du service fixe, mais le coût pour les liaisons du service fixe existantes est nettement supérieur. Une augmentation trop importante de la taille de l'antenne (par exemple 1,2 m de diamètre) sera difficilement possible en raison des limites de problèmes physiques tels la charge au vent et le poids de l'antenne. Il faut aussi préciser que les antennes de plus grande taille recevant des signaux plus faibles sont plus sensibles aux brouillages causés par les émetteurs des satellites.

## **4.7 Gestion des assignations au service fixe dans la bande**

La mise en place de stations du service fixe pourrait être limitée en termes de nombre, de bande de fréquences et/ou de zone géographique afin de faciliter le partage avec le SFS.

### **4.7.1 Efficacité potentielle de cette solution**

Limiter l'installation de stations du service fixe faciliterait certainement l'introduction de stations d'utilisateur du SFS, mais n'allégerait pas les tâches de coordination.

### **4.7.2 Faisabilité de cette solution**

Toute restriction à l'installation du service fixe peut avoir un coût correspondant.

#### 4.8 Coordination entre le SFS et le service fixe

Cette technique peut être efficace pour des grandes stations terriennes (du type passerelle). Bien qu'elle soit faisable pour les grandes stations terriennes, la coordination n'est pas réalisable pour des stations ubiquistes d'utilisateur à faible coût. Le coût et la charge administrative de mise en place de la coordination seraient hors de proportion avec le faible coût et la facilité d'installation de ces petites stations d'utilisateur. En outre, si l'utilisateur déménage, il n'est pas sûr qu'une station qui a fait antérieurement l'objet d'une coordination puisse continuer à être utilisée sans brouillages sur son nouveau site.

#### 4.9 Diagrammes d'antenne du SFS

Le brouillage causé par un émetteur du service fixe à une station terrienne réceptrice du SFS ne correspondra jamais à un scénario faisceau principal-faisceau principal. Ainsi, les caractéristiques de l'antenne du SFS au-delà du faisceau principal et des premiers lobes latéraux revêtent une grande importance pour la situation de brouillage. En principe, des antennes à gain élevé de stations du SFS présenteraient des gains inférieurs dans les lobes latéraux, et en tout état de cause, les stations du SFS devraient être conçues en tenant compte de l'importance des caractéristiques de lobes latéraux. Toutefois, le coût de mise en oeuvre d'antennes à gain élevé dans une station d'utilisateur peut être élevé, et peut aller à l'encontre de l'objectif du faible coût des stations d'utilisateur destinées aux applications ubiquistes du SFS non OSG.

#### 4.10 Codage adaptatif

Cette technique de limitation consiste à augmenter la redondance de l'information transmise pendant un (faible) pourcentage de temps afin de compenser une réduction de la disponibilité du système en raison de la conjonction brouillage plus affaiblissement dû à la pluie, dont l'effet combiné est plus important que l'addition marge pour les brouillages externes,  $M_E$  plus marge pour la pluie,  $M_R$ .

Le codage adaptatif est une technique qui peut être utilisée pour combattre les dégradations variables dans le temps de la marge de la liaison, par exemple les évanouissements. Le brouillage causé par le service fixe au SFS peut être considéré comme étant constant dans le temps. En pareille situation, le seul effet variable dans le temps est l'affaiblissement dû à la pluie. Si le brouillage externe provoque une dégradation de la marge du système de  $M_E$ , un affaiblissement dû à la pluie supérieur à  $M_R$  conduira à une indisponibilité du service. Si le niveau de brouillage dépasse la valeur de  $M_E$ , le pourcentage de temps d'indisponibilité augmentera étant donné qu'une partie de la marge pour la pluie sera utilisée pour compenser ce dépassement.

Toutefois, si le brouillage est supérieur en permanence à  $M_R + M_E$ , l'utilisation du codage adaptatif pourrait ne pas empêcher une diminution du débit de données pendant 100% du temps.

##### 4.10.1 Effets de la réduction du débit de données

Des études concernant l'effet sur les performances du système du SFS de l'utilisation du codage adaptatif pour limiter les brouillages causés par le service fixe à 18/19 GHz ont été effectuées et les valeurs chiffrées de cet effet pour divers niveaux de la marge fixe sont données dans le Tableau 9.

TABLEAU 9

**Effets du brouillage causé par le service fixe sur le débit moyen du SFS et sur l'indisponibilité des systèmes du SFS utilisant le codage adaptatif (marge pour le brouillage causé par le service fixe: 0,5 dB)**

Dégradation totale due aux brouillages causés par le service fixe (dB)	Marge fixe pour le SFS: 1 dB Débit moyen: 336,9 Mbit/s Indisponibilité: 0,079%		Marge fixe pour le SFS: 3 dB Débit moyen: 338,3 Mbit/s Indisponibilité: 0,042%		Marge fixe pour le SFS: 5,5 dB Débit moyen: 338,6 Mbit/s Indisponibilité: 0,021%	
	Pourcentage de diminution du débit du SFS	Indisponibilité du SFS <sup>(1)</sup> (%)	Pourcentage de diminution du débit du SFS	Indisponibilité du SFS <sup>(1)</sup> (%)	Pourcentage de diminution du débit du SFS	Indisponibilité du SFS <sup>(1)</sup> (%)
0,5	0,0	0,079	0,0	0,042	0,0	0,021
1,0	0,4	0,087	0,0	0,046	0,0	0,024
1,5	1,8	0,097	0,1	0,049	0,0	0,026
2,0	12,4	0,109	0,1	0,054	0,0	0,027
2,5	21,8	0,122	0,3	0,059	0,0	0,029
3,0	30,3	0,158	0,7	0,071	0,1	0,031
3,5	37,9	0,181	1,9	0,078	0,1	0,036
4,0	44,6	0,210	12,5	0,086	0,1	0,039
4,5	50,6	0,293	22,0	0,107	0,2	0,046
5,0	56,0	0,458	30,4	0,121	0,3	0,050
5,5	60,8	0,556	38,0	0,156	0,6	0,059
6,0	65,1	0,777	44,7	0,179	1,8	0,065
6,5	69,0	1,390	50,7	0,244	12,4	0,079
7,0	73,3	5,012	56,1	0,453	21,9	0,097

<sup>(1)</sup> L'indisponibilité du SFS est calculée par rapport au cas où il y aurait un brouillage causé par le service fixe de 0,5 dB si la marge additionnelle autorisée par le codage adaptatif est utilisée pour augmenter la disponibilité nominale.

Comme indiqué dans le Tableau 9, l'effet d'une dégradation de 0,5% due aux brouillages causés par le service fixe (en plus de la marge de 0,5 dB assurée par le système à cet effet) augmentera l'indisponibilité de la station terrienne du SFS d'environ 10% indépendamment de la marge fixe pour le SFS. Le Tableau montre également que si on utilise une marge fixe de 5,5 dB en plus du codage adaptatif, le système du SFS peut tolérer une dégradation maximale à long terme de 6,5 dB due aux brouillages causés par le service fixe avant qu'il y ait des conséquences importantes sur le débit moyen du système. Toutefois, on a noté que ce même niveau de brouillage dû au service fixe augmentera l'indisponibilité du SFS (c'est-à-dire l'indisponibilité qui en résulterait lorsque les niveaux de brouillages causés par le service fixe ont la valeur attribuée pour 0,5 dB) pour un tel système, qui serait comprise entre 0,021 et 0,097%.

De plus, le Tableau 9 montre l'effet de la dégradation due aux brouillages causés par le service fixe pour un système du SFS utilisant une marge fixe de 1 ou 3 dB en plus du codage adaptatif. Pour un système du SFS avec 1 dB de marge fixe, une augmentation de 1,5 dB de la dégradation due aux brouillages causés par le service fixe abaissera le débit moyen du SFS de 12%. Avec une augmentation de 2,5 dB de la dégradation due au service fixe, il y aura réduction de ce débit de 22% et avec 5 dB, une diminution de 61%. Il convient toutefois de noter que cette réduction permet de maintenir la communication entre le satellite et la station terrienne.

Il convient également de noter que pour un système du SFS, une marge fixe de 1 dB associée au codage adaptatif (permettant une réduction du débit binaire jusqu'à 25%) se traduit par un taux de disponibilité de 99,92% - une valeur qui correspond bien avec de nombreux objectifs de disponibilité du SFS cités. Chaque dB additionnel de marge fixe pour un système du SFS requiert 25% de puissance en plus de la part des amplificateurs de satellite, ce qui peut facilement se traduire par des chiffres analogues pour la puissance électrique et, par conséquent, par une augmentation du poids et du coût de lancement. Toutefois, dans le cas d'un système disposant déjà d'une importante marge pour les évanouissements, il faudra prendre en considération les coûts additionnels de mise en oeuvre d'une technique de codage adaptatif dans le réseau. Sachant que de nombreux systèmes du SFS sont destinés à assurer un service global et non pas un service local, dans les objectifs de conception de ces systèmes il faut d'une part prendre en considération l'impact d'une telle augmentation de la marge fixe sur le coût total du système et, d'autre part, évaluer les possibilités plus grandes d'offrir un service aux clients dans des zones où les services terrestres sont déjà fortement installés, ainsi que la disponibilité plus élevée qui en résulterait pour des zones avec une présence faible ou nulle de systèmes de Terre ou dans des zones où les taux de précipitation sont plus grands. En d'autres termes, concevoir une marge fixe importante pour un système du SFS associé à un codage adaptatif se traduit par un système du SFS trop élaboré pour certaines régions du monde où la densité du service fixe peut ne pas être trop importante, afin de remplir les objectifs de conception dans certaines régions où il y a une forte densité du service fixe. Toutefois, les systèmes du SFS destinés à servir toutes les régions du monde devraient être conçus de manière à faire face à des situations où le niveau de l'affaiblissement dû à la pluie est élevé dans certaines zones et faible dans d'autres. En conséquence, même en supposant l'absence de systèmes du service fixe, ces systèmes devront être conçus avec une marge suffisante pour les évanouissements.

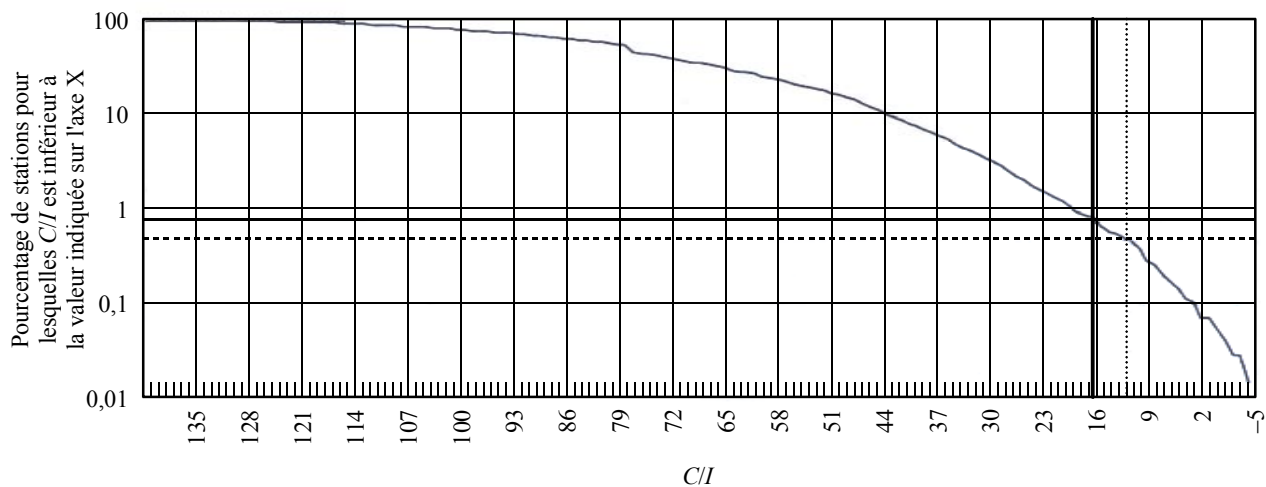
#### **4.10.2 Effets de l'utilisation des techniques de codage adaptatif sur des stations terriennes du SFS potentiellement brouillé**

Une étude a été effectuée pour quantifier l'amélioration du partage entre des stations du service fixe et du SFS, lorsque le système du SFS utilise un codage adaptatif comme technique de limitation. Cette étude repose sur deux approches, l'une fondée sur une simulation statistique et la deuxième sur un calcul déterministe.

Le calcul statistique repose sur les mêmes hypothèses que celles exposées au § 3.1.2. On suppose une marge pour la pluie de 5,5 dB et une marge supplémentaire de 1 dB pour la liaison descendante du SFS et on considère deux cas: dans le premier, on suppose que le codage adaptatif peut compenser une marge de dégradation de 1 dB et dans le deuxième, on suppose que cette valeur est de 3 dB. En se fondant sur ces valeurs, le rapport  $C/I$  requis pour le système du SFS a été recalculé à partir de sa valeur initiale supposée être de 20 dB. Ces valeurs sont respectivement de 16,4 et de 12,2 dB.

La Fig. 10 montre, pour une simulation, le pourcentage de stations pour lesquelles le rapport  $C/I$  est situé en dessous de l'abscisse.

FIGURE 10

Résultats du calcul du rapport  $C/I$  pour des stations terriennes du SFS non OSG

$C/I = 16,4$  dB (courbe en continu)

$C/I = 12,2$  dB (courbe en pointillés)

Rap 2046-10

Les Tableaux 10 et 11 donnent, pour différentes simulations, le pourcentage de stations pour lesquelles  $C/I < 16,4$  dB ou  $< 12,2$  dB lorsque le codage adaptatif est utilisé:

TABLEAU 10

## Résultats pour des stations terriennes du SFS non OSG utilisant une marge de 1 dB

Pourcentage de stations avec $C/I < 16,4$ dB lorsque le codage adaptatif est utilisé	Evolution du nombre de stations en dessous du rapport $C/I$ par rapport au cas sans codage adaptatif (%)
0,7	-44
0,8	-33

TABLEAU 11

## Résultats pour des stations terriennes du SFS non OSG utilisant une marge de 3 dB

Pourcentage de stations avec $C/I < 12,2$ dB lorsque le codage adaptatif est utilisé	Evolution du nombre de stations en dessous du rapport $C/I$ par rapport au cas sans codage adaptatif (%)
0,085	-93
0,5	-58

L'efficacité du codage adaptatif pour la situation de partage entre le service fixe et le SFS est grande étant donné qu'il permet de diminuer de 33 à 93% le nombre de stations brouillées, même lorsque ce nombre est déjà très faible.

L'étude déterministe a été basée sur les mêmes hypothèses que celles exposées au § 3.1.1.1. En conséquence, un modèle d'affaiblissement de propagation en espace libre a été utilisé auquel on a ajouté l'affaiblissement dû aux gaz. On n'a pas pris en considération l'occultation par le relief.

Dans ces études déterministes précitées, on a pris une marge pour les brouillages à long terme de 6% du bruit de système de la station d'utilisateur non OSG (c'est-à-dire  $I/N = -12,2$  dB) dans des conditions de ciel clair et de terrain dégagé. Cela correspond à un niveau de brouillage maximal dans le récepteur du SFS de  $-99,2$  dBm pour un bruit de récepteur de  $-87$  dBm (en supposant une largeur de bande de 500 MHz).

Un rapport  $I/N$  de  $-12,2$  dB correspond à une marge de dégradation possible de 0,25 dB à laquelle, comme expliqué ci-dessus, on ajoute la dégradation possible de la marge autorisée par l'utilisation du codage adaptatif. Le Tableau 12 donne la valeur maximale du brouillage correspondant à cette dégradation de marge qui a été ajoutée.

TABLEAU 12

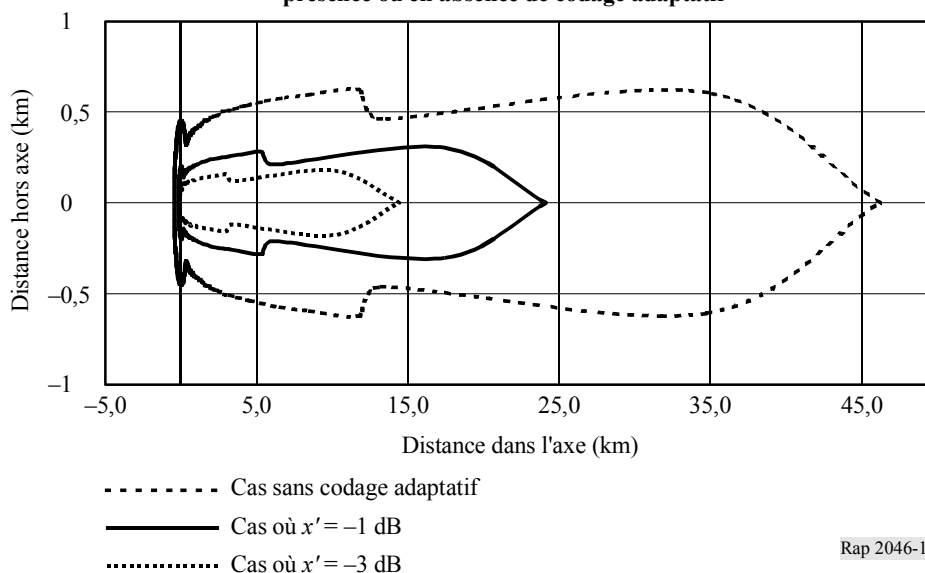
## Niveau de brouillage maximal au niveau du récepteur du SFS

Dégradation ajoutée de la marge (dB)	Marge de dégradation totale autorisée (dB)	Niveau maximal de brouillage au niveau du récepteur du SFS (dBm)
1	1,25	-91,77
3	3,25	-86,53

La Fig. 11 présente les résultats du calcul pour les trois cas: sans codage adaptatif, avec codage adaptatif, lorsque ce dernier compense une marge de dégradation ajoutée de 1 et 3 dB.

FIGURE 11

## Zone dans laquelle les récepteurs du SFS peuvent subir des brouillages du service fixe en présence ou en absence de codage adaptatif



Rap 2046-11

Lorsque le codage adaptatif est utilisé, l'impact sur la zone dans laquelle des stations terriennes du SFS peuvent subir des brouillages est extrêmement important. Non seulement la distance maximale du service fixe est diminuée (cette réduction est comprise entre 50 et 70% (24 à 14 km)) en fonction de la marge compensée (1 ou 3 dB), mais la taille totale de la zone est fortement diminuée. Il convient également de noter que dans le lobe arrière, la distance est diminuée de moins de 10 m ou 20 m selon le cas.

Les études déterministes donnent des résultats analogues à ceux obtenus avec des études statistiques. La mise en oeuvre du codage adaptatif dans les liaisons descendantes du SFS est une technique de limitation très efficace pour diminuer le risque de brouillages causé par les émetteurs du service fixe aux stations terriennes réceptrices du SFS.

#### **4.10.3 Mise en oeuvre du codage adaptatif**

La mise en oeuvre du codage adaptatif dans des systèmes à satellites est possible. Cette mise en oeuvre peut être effectuée par addition d'un (nouveau) niveau de codage associé à un mécanisme d'adaptation de ce codage (par exemple, via des codes discontinus).

Lorsque l'environnement de brouillage peut être pris en considération au début de la phase de conception du système du SFS, le choix des codes adaptatifs peut être optimisé. On a noté que du fait de leur nature très particulière, l'utilisation des turbo-codes peut aider fortement à obtenir cette optimisation, tout en minimisant l'impact sur le débit d'information.

A partir des informations contenues au § 4.10.1, on peut voir pourquoi un opérateur du SFS peut décider d'employer une marge fixe de 1 dB seulement, même si une marge fixe plus grande rendrait les stations terriennes du SFS moins sensibles aux brouillages à long terme causés par le service fixe et permettrait de fournir un service dans des zones où il ne pourrait être offert sans cette marge fixe plus grande pour combattre le brouillage causé par le service fixe. Certaines administrations ont indiqué qu'un système du SFS utilisant le codage adaptatif et conçu pour fonctionner dans un environnement en partage avec le service fixe ne devrait pas employer de marge fixe de 1 dB seulement.

#### **4.10.4 Faisabilité de la technique**

L'adoption du codage adaptatif dans les systèmes de communication par satellite (par exemple, USAMEO-1; DVB-RCS pour lesquels son utilisation est envisagée dans la réalisation du canal de retour par satellite pour les applications à bande étroite) montre la viabilité de la mise en oeuvre de ces codes et peut conduire à une plus grande disponibilité des circuits de codage/décodage correspondant.

En outre, dans la Recommandation UIT-R S.1420, on encourage, dans le cas particulier des transmissions ATM, l'utilisation d'un codage avec correction d'erreur directe et une régulation adaptative du débit de données de manière à améliorer la qualité de service de la transmission.

#### **4.10.5 Conclusion sur le codage adaptatif**

Le codage adaptatif est une technique qui permet de pallier les effets des dégradations variables dans le temps.

Même si dans certains scénarios de brouillage, la technique de codage adaptatif ne permettra pas de surmonter les difficultés de partage entre les systèmes du service fixe et les systèmes du SFS, cette technique présente encore des avantages et, en conséquence, doit être considérée comme une méthode permettant d'améliorer la situation de partage entre les stations du service fixe et les stations terriennes réceptrices du SFS.

On a noté que l'utilisation du codage adaptatif ne permettait pas de combattre directement la réduction de la marge pour la liaison due aux brouillages causés par le service fixe mais, moyennant une diminution du débit de données, il permettra de maintenir la disponibilité de la liaison, mais avec un service dégradé.



## 4.11 Étalement du spectre

L'utilisation de l'étalement de spectre comme technique de limitation est fondée sur l'hypothèse qu'en raison des caractéristiques d'utilisation des fréquences des réseaux d'infrastructure terrestre les stations terriennes susceptibles d'être brouillées reçoivent le brouillage simultané provenant d'un petit nombre d'émetteurs du service fixe (largeur de bande de 55; 27,5 ou 13,75 MHz) et se traduisant dans la plupart des cas par un brouillage à bande étroite comparé à la largeur de bande de 500 MHz utilisée par les systèmes à large bande à satellite.

La Recommandation UIT-R SM.1055 contient des exemples de partage des bandes avec utilisation de la technique d'étalement du spectre pour obtenir une résistance plus grande à certains types de brouillage.

Dans ce contexte, trois techniques différentes d'étalement du spectre ont été étudiées: l'étalement à séquence directe (DS), l'étalement multiporteuse (MC) et l'étalement par saut de fréquence (FH). On a noté que les signaux d'étalement du spectre sont associés au multiplexage par répartition de code (MRC) qui, tout comme les multiplexages par répartition en fréquence (MRF) et par répartition dans le temps (MRT), est une technique de multiplexage.

On a noté que les techniques MRC sont généralement plus complexes que les techniques MRF et MRT, mais elles présentent d'autres avantages comparativement. Par rapport au multiplexage MRF, lorsqu'on utilise l'étalement de spectre comme technique de limitation, le système à satellites n'a pas besoin de savoir sur quelle fréquence l'émetteur du service fixe émet localement.

### 4.11.1 Efficacité potentielle de la technique

On a noté que si le nombre de liaisons du service fixe installées augmentait, les techniques d'étalement de spectre devenaient de moins en moins aptes à résoudre les difficultés de partage entre les systèmes du service fixe et ceux du SFS; toutefois, on admet qu'en raison du brouillage intraservice du service fixe le nombre de systèmes du service fixe ne peut pas augmenter indéfiniment.

L'étalement du spectre peut permettre d'augmenter la marge pour le brouillage en abaissant le débit de données (en augmentant le facteur d'étalement sans modifier la largeur de bande attribuée à la porteuse), ce qui est identique à ce que l'on peut obtenir par un autre type de multiplexage (par exemple le multiplexage MRT) en réduisant le débit de données émis tout en maintenant les niveaux de puissance afin d'obtenir une marge plus élevée. Dans les deux cas, la diminution du débit de données émise se traduit par une marge d'évanouissement additionnelle sur la liaison descendante du SFS. L'attribution d'une marge plus grande pour les évanouissements aux brouillages du service fixe se traduit par une plus grande indisponibilité des systèmes, compte tenu des brouillages causés par cet autre service.

#### 4.11.1.1 Étalement du spectre à séquence directe

L'étalement de spectre à séquence directe peut être défini comme une technique de structuration du signal utilisant un étalement de code numérique ayant un débit d'élément  $1/T_c$  supérieur au débit binaire du signal d'information  $1/T_b$ . Chaque bit d'information du signal numérique est transmis sous forme d'une séquence pseudo-aléatoire d'éléments, ce qui produit un spectre large semblable à du bruit. Le récepteur corrèle le signal d'entrée RF avec une copie locale de la séquence d'étalement pour retrouver l'information de données à bande étroite au débit  $1/T_b$ .

Lorsque le brouillage est à bande étroite, la corrélation croisée du signal reçu avec la réplique de la séquence d'étalement abaisse le niveau de brouillage en l'étalant sur la bande de fréquences occupée par le signal d'étalement. Ainsi, le brouillage est rendu équivalent à un bruit de faible niveau avec un spectre relativement plat. Parallèlement, l'opération de corrélation croisée ramène le signal utile dans la largeur de bande occupée par le signal d'information avant l'étalement.

Le rapport largeur de bande totale/largeur de bande d'information ( $W/R = T_b/T_c$ ) est le facteur d'expansion de la largeur de bande. On peut valablement faire l'approximation suivante: l'amélioration du rapport puissance du  $S/I$  est égale au facteur d'expansion de la largeur de bande ou au rapport entre la largeur de bande du signal d'étalement et la largeur de bande du signal brouilleur en retenant la valeur la plus faible.

Un certain niveau de souplesse dans la capacité d'utilisation peut être obtenu en associant plusieurs codes orthogonaux au niveau du même utilisateur.

Les systèmes MRC utilisant l'étalement de spectre à séquence directe nécessitent une certaine linéarité au niveau de l'amplificateur de puissance qui se traduit soit par un amplificateur de satellite plus volumineux ou par la nécessité d'augmenter le recul de sortie du satellite ce qui affecte les performances du système.

#### 4.11.1.2 Etalement du spectre à multiporteuse

L'étalement du spectre à multiporteuse consiste à prendre  $M$  signaux à bande étroite, chacun sur une fréquence porteuse différente et en leur assignant tous une utilisation, à augmenter la largeur de bande d'étalement par un facteur  $M$ . Le récepteur dispose d'un corrélateur pour chaque porteuse, et les sorties des corrélateurs sont combinées pour obtenir un gain de traitement comparable à celui qu'on obtient avec un système à étalement direct monoporteuse. Analogie à un système conventionnel à étalement direct monoporteuse, un système multiporteuse a un effet de limitation des brouillages à bande étroite.

Au lieu de simplement répéter le même symbole de données sur chacune des  $M$  porteuses, on peut utiliser un code convolutionnel discontinu à débit élevé pour faire correspondre  $k$  bits d'entrée à  $n$  bits de sortie ( $k$  étant voisin de  $n$ ). Les  $n = M$  bits de sortie sont alors modulés sur les  $M$  porteuses.

Au niveau du récepteur de la station d'utilisateur du satellite, un ou plusieurs des  $M$  canaux peuvent être brouillés. En utilisant la redondance des données transmises, le décodeur placé dans la station d'utilisateur du satellite fait en sorte de remplir les positions où il y a des "trous" d'information et retrouver la séquence d'information originale. Ces codes peuvent être conçus pour corriger un ou plusieurs "trous", cela dépend de la longueur mémoire du code.

Par un choix judicieux du code convolutionnel discontinu à haut débit, il est ainsi possible de supprimer une ou plusieurs des  $M$  porteuses émises. Les porteuses brouillées, le cas échéant, peuvent être différentes pour chaque station à l'intérieur d'un même faisceau ponctuel.

On a noté que l'efficacité de ces techniques dépendait de l'alignement des  $M$  porteuses avec le plan de fréquences utilisé par les réseaux d'infrastructure terrestres. Dans le cas de fréquences avec chevauchement, deux porteuses (au lieu d'une) peuvent être brouillées, toutefois, avec des niveaux de puissance plus faibles.

Les systèmes MRC utilisant l'étalement de spectre multiporteuse requièrent une certaine linéarité au niveau de l'amplificateur de puissance qui se traduit par un amplificateur de satellite plus volumineux ou une augmentation du recul de sortie du satellite affectant les performances du système.

#### 4.11.1.3 Etalement de spectre à saut de fréquence

L'étalement de spectre à saut de fréquence peut être défini comme une technique de structuration du signal utilisant une commutation automatique de la fréquence émise. La sélection de la fréquence à émettre est en général faite de façon pseudo-aléatoire à partir d'un ensemble de fréquences couvrant une bande plus large que la largeur de bande de l'information. Les sauts de fréquence du récepteur utile fonctionnent en synchronisation avec l'émetteur afin de récupérer l'information souhaitée.

La technique d'étalement du spectre à sauts de fréquences améliore les spécifications de rapport  $C/I$  en créant une diversité à partir de brouilleurs. Le rapport  $C/I$  nominal peut être basé sur la moyenne de ce rapport  $(C/I)_{moyen}$  au lieu de celui correspondant au cas le plus défavorable. Alors que certains canaux à bande étroite sont soumis à des évanouissements ou brouillés, la plupart des fréquences sont en général dépourvues de brouillage.

Lorsque les fréquences brouillées sont connues de la station du satellite, dans un environnement géographique donné, il peut être possible d'éviter totalement ces fréquences dans la séquence de sauts. Dans certains cas, pour une station du satellite donnée, cela conduit à une séquence de sauts de fréquence plus courte, mais pas par une perte de capacité.

#### 4.11.2 Impact sur le débit de données

Le débit de données instantané offert à un utilisateur est diminué d'un facteur égal au facteur d'étalement. Toutefois, dans les systèmes à séquence directe, en servant plus longtemps cet utilisateur, on peut maintenir le débit moyen de données. En servant plus longtemps un utilisateur donné, on diminue la souplesse avec laquelle la capacité du système peut être utilisée. Ce dernier effet peut au moins être atténué en assignant plusieurs codes au même utilisateur, en ne perdant pas de vue qu'en assignant plusieurs codes au même utilisateur on diminue le facteur d'étalement.

Dans le système multiporteuse, l'impact sur le débit de données est équivalent au débit du code convolutionnel discontinu  $k/n$ . Toutefois, un système à satellites MRT (viser et tirer) utilisant cette technique afin d'améliorer la situation de partage doit seulement réduire le débit de données pour les stations potentiellement brouillées.

Indépendamment du type de multiplexage par étalement du spectre et l'architecture de satellite, il y a diminution du débit maximal de données obtenu avec le multiplexage MRC lorsqu'il est utilisé comme technique de limitation des brouillages provoqués par le service fixe. La diminution de débit de données requise pour l'étalement du spectre est analogue à la diminution du débit de données qu'on peut utiliser avec d'autres techniques de modulation pour améliorer l'énergie par bit et compenser les brouillages causés par le service fixe. Toutefois, il convient de noter que le comportement de l'étalement de spectre à saut de fréquence dans ce contexte appelle un complément d'étude.

On a montré qu'un satellite utilisant le multiplexage à étalement de spectre à séquence directe n'offre pas une plus grande protection qu'un système employant le multiplexage MRT utilisant un débit de données comparable sur le répéteur, et ceci pour des configurations de satellite de type "viser et tirer" ou des satellites utilisant des faisceaux fixes (satellites ou faisceaux fixes vers la Terre). En fait, dans une étude où l'on a utilisé des faisceaux fixes, le système MRT était réellement plus résistant aux brouillages qu'un système à étalement de spectre à séquence directe.

Il convient de signaler qu'un signal à étalement de spectre peut être ajusté dynamiquement en termes de facteur d'étalement (et de gain d'étalement) pour tenir compte de l'environnement de brouillage de chaque utilisateur, mais la même chose peut être faite avec un accès MRT aussi longtemps qu'un débit de données adaptatif est offert à chaque utilisateur paquet par paquet ou par salve de transmission de données.

De plus, pour une qualité de service donnée, l'utilisation de  $N$  porteuses avec un débit de service  $R/N$  permettrait d'obtenir un débit de trafic moyen inférieur à celui offert par une seule porteuse plus large à un débit de service  $R$ . Cela signifie que l'utilisation d'un type quelconque de multiplexage à étalement de spectre comme technique de limitation des brouillages causés par des services fixes conduit inévitablement à une perte du gain de multiplexage statistique et, par conséquent, se traduit par une baisse de capacité globale de satellite du SFS.

### 4.11.3 Faisabilité de la technique

Il a été noté que les diverses techniques d'étalement du spectre pouvaient être mieux adaptées à une architecture donnée de système à satellites. De plus, même si elles ne sont pas très utilisées dans les communications à satellite, ces techniques ont été développées pour les systèmes de radiocommunication terrestres et à satellites.

Indépendamment de la situation de départ de l'architecture du SFS, lorsqu'on utilise le multiplexage par étalement de spectre à séquence directe et multiporteuse, ou l'étalement de spectre à saut de fréquence avec plusieurs porteuses pour limiter les brouillages causés par le service fixe, il faudra que l'amplificateur du satellite fonctionne avec un recul de sortie qui augmentera avec le nombre de porteuses. L'utilisation de ce recul implique une diminution de l'efficacité en puissance de l'amplificateur comparé à une situation dans laquelle la charge utile du satellite est limitée à une exploitation monoporteuse saturée. Cette perte d'efficacité en puissance conduit à une augmentation de la puissance requise au niveau de l'amplificateur, se traduisant par une augmentation de la masse du satellite. Il convient toutefois de noter que certains systèmes du SFS sont conçus pour fonctionner avec un accès MRF en utilisant un ensemble de porteuses dont la largeur de bande est comprise entre moins de 100 kHz et plus de 100 MHz. Cela implique que l'amplificateur de puissance du satellite devra fonctionner dans sa région linéaire afin de permettre à l'opérateur du SFS d'être en mesure d'assurer des services impliquant un mode de fonctionnement multiporteuse. De plus, l'utilisation du recul de l'amplificateur en mode de fonctionnement multiporteuse est nécessaire afin de diminuer les produits d'intermodulation. Dans une exploitation en mode multiporteuse, il y a par conséquent un compromis entre l'efficacité de l'amplificateur et le niveau des produits d'intermodulation. Dans le cas d'un fonctionnement en mode monoporteuse, on peut utiliser toute la puissance de l'amplificateur.

Tout en reconnaissant que le présent Rapport concerne la bande 18/19 GHz, on a noté qu'il y avait certains systèmes du SFS prévus pour fonctionner entre 10 et 12 GHz et utiliser les techniques MRC afin de desservir un grand nombre de stations terriennes dans des bandes utilisées en partage avec les services de Terre. Etant donné que les considérations relatives à la conception et aux conditions de propagation sont différentes dans les deux bandes de fréquences, la mise en oeuvre du multiplexage MRC dans la bande 12 GHz peut ne pas être la même que la mise en oeuvre de cette même technique dans la bande 18/19 GHz.

### 4.11.4 Conclusions sur l'utilisation de l'étalement du spectre comme technique de limitation des brouillages

On estime que, même si pour certains scénarios de brouillage, la technique d'étalement du spectre ne permettra pas de surmonter les difficultés de partage entre les systèmes du service fixe et du SFS, ces techniques présentent toujours des avantages et, en conséquence, doivent être prises en considération pour améliorer la situation de partage entre des stations du service fixe et des stations terriennes réceptrices du SFS.

On a noté que dans la plupart des systèmes à satellites en projet destinés à fonctionner dans la bande 18/19 GHz, il n'est pas envisagé d'utiliser la technique d'étalement du spectre et que, toutefois, au moins un système va l'utiliser.

## 4.12 Autres techniques de limitation des brouillages

Type d'antenne à utiliser. Cela est particulièrement utile dans des cas de brouillages très proches (100 m environ). Dans certains cas, on peut obtenir une différence de 10 dB, en jouant sur les caractéristiques d'antenne, lorsqu'il y a un espacement angulaire suffisant entre la direction de pointage de l'antenne de la station du SFS et le lieu d'implantation de la station du service fixe.

Dans une contribution, on a conclu que le choix d'un lieu d'implantation approprié pouvait être considéré comme technique de limitation. Elle permet de réduire sensiblement les brouillages lorsque ceux-ci sont occultés par des obstacles proches.

#### **4.13 Combinaison des différentes techniques de limitation**

Dans la mesure où ces techniques peuvent concrètement être utilisées pour limiter les brouillages individuellement, leur effet combiné pourrait améliorer la situation de partage comparativement aux méthodes prises individuellement.

---