

## RECOMENDATION UIT-R M.1039-2

**PARTAGE DE COFRÉQUENCES ENTRE STATIONS DU SERVICE MOBILE AU-DESSOUS DE 1 GHz ET STATIONS TERRIENNES MOBILES DES SYSTÈMES À SATELLITES MOBILES NON GÉOSTATIONNAIRES (TERRE-ESPACE) UTILISANT L'ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION EN FRÉQUENCE (AMRF)**

(Questions UIT-R 83/8, UIT-R 84/8 et UIT-R 201/8)

(1994-1997-2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que le spectre radioélectrique alloué par les Conférences mondiales des radiocommunications CAMR-92, CMR-95 et CMR-97, aux services mobiles par satellite (SMS) opérant avec des satellites sur orbite terrestre basse (LEO) au-dessous de 1 GHz doit, en cas de partage avec des services mobiles, assurer une protection adéquate contre les brouillages préjudiciables;
- b) que la Résolution 214 (Rév.CMR-97) invitait l'UIT-R à étudier et à élaborer des Recommandations relatives à la qualité de fonctionnement, aux critères de partage et aux questions techniques et opérationnelles liées au partage entre les services existants ou en projet et le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz;
- c) que le SMS LEO peut assurer des services utiles de radiocommunication, notamment des services d'alerte (voir la Note 1);

NOTE 1 – Ces services ne seront cependant pas identifiés en tant que services de sécurité, au sens de la définition du Règlement des radiocommunications;

- d) que l'utilisation d'orbites terrestres basses permet aux stations spatiales de se servir effectivement des fréquences au-dessous de 1 GHz;
- e) que certaines techniques de coordination et de découpage en canaux utilisées par les systèmes radioélectriques des services fixes et mobiles dans les bandes de fréquences au-dessous de 1 GHz permettent de réduire la charge de trafic (en Erlang) sur les canaux individuels;
- f) que les techniques d'assignation dynamique des canaux offrent une faisabilité technique adéquate et permettent, le cas échéant, de partager le spectre entre, d'une part, les services mobiles et, d'autre part, les SMS de faible puissance et facteur d'utilisation réduit;
- g) que les usagers du SMS non OSG feraient appel à ces services à l'intérieur de zones géographiques étendues;
- h) que les stations terriennes mobiles (STM) émettent à raison de brèves émissions;
- j) que dans le SMS les caractéristiques du signal au-dessous de 1 GHz peuvent permettre le partage dans le même canal entre services mobiles;
- k) qu'il est nécessaire de déterminer les possibilités de partage entre le SMS et le service mobile en prenant en compte l'impact des émissions du service mobile sur les récepteurs des satellites du SMS;
- l) que les techniques de modélisation statistiques permettent d'estimer la probabilité du brouillage causé par le SMS au service mobile.

*considérant en outre*

- a) que les attributions faites aux services mobiles dans un grand nombre de pays sont très utilisées, et que la charge de trafic est alors parfois élevée;
- b) qu'un mode de propagation utilisant la diffusion en ondes métriques est présenté dans la Recommandation UIT-R P.370,

*notant*

- a) que des études complémentaires sont nécessaires pour déterminer si les modèles statistiques sont entièrement applicables aux services mobiles maritimes et aéronautiques;

- b) que la répartition des utilisateurs des STM peut être concentrée dans une zone spécifique à l'intérieur de l'empreinte d'un satellite, compte tenu des contraintes géographiques.
- c) que la Recommandation UIT-R M.1184 expose les caractéristiques techniques des réseaux SMS non OSG fonctionnant au-dessous de 1 GHz, considérés comme adaptés à la modélisation et à l'analyse du partage et du brouillage potentiel entre les STM et les stations des services mobiles.

*recommande*

- 1 d'envisager d'utiliser la méthode analytique décrite à l'Annexe 1 pour obtenir une première approximation des probabilités de brouillage des stations mobiles terrestres (SMT) du SMS non OSG par les STM fonctionnant généralement dans la même bande de fréquences;
- 2 d'envisager de calculer de manière plus précise les probabilités de brouillage en utilisant les méthodes statistiques détaillées de l'Annexe 2 ou de l'Annexe 3 pour évaluer les possibilités de partage entre les stations des services mobiles et les STM AMRF utilisant des orbites non OSG et bénéficiant d'attributions primaires (Terre-espace) dans la même bande de fréquences au-dessous de 1 GHz;
- 3 d'envisager d'utiliser des techniques d'assignation dynamique des canaux analogues aux techniques décrites dans l'Annexe 4 dans le cas des systèmes du SMS non OSG (à bande étroite) exploités dans les attributions faites au SMS au-dessous de 1 GHz dans des bandes permettant de promouvoir la compatibilité avec les services de Terre.

ANNEXE 1

**Méthodologie analytique de calcul de la probabilité de brouillage  
des SMT fonctionnant au-dessous de 1 GHz par  
les stations terriennes du SMS non OSG**

**1 Introduction**

La présente annexe décrit une méthodologie analytique de calcul de la probabilité de brouillage qui, prend en compte les brouillages que les STM peuvent occasionner aux stations de base de la station SMT existante et, fait intervenir un modèle de propagation fondé sur la Recommandation UIT-R P.370.

La méthode proposée permet d'évaluer facilement la probabilité de brouillage et s'applique à tout système du SMS non OSG avec AMRF. Elle permettrait en outre d'analyser plus facilement les possibilités de partage de fréquences entre les systèmes non OSG du SMS et les systèmes existants du service mobile qui fonctionnent au-dessous de 1 GHz.

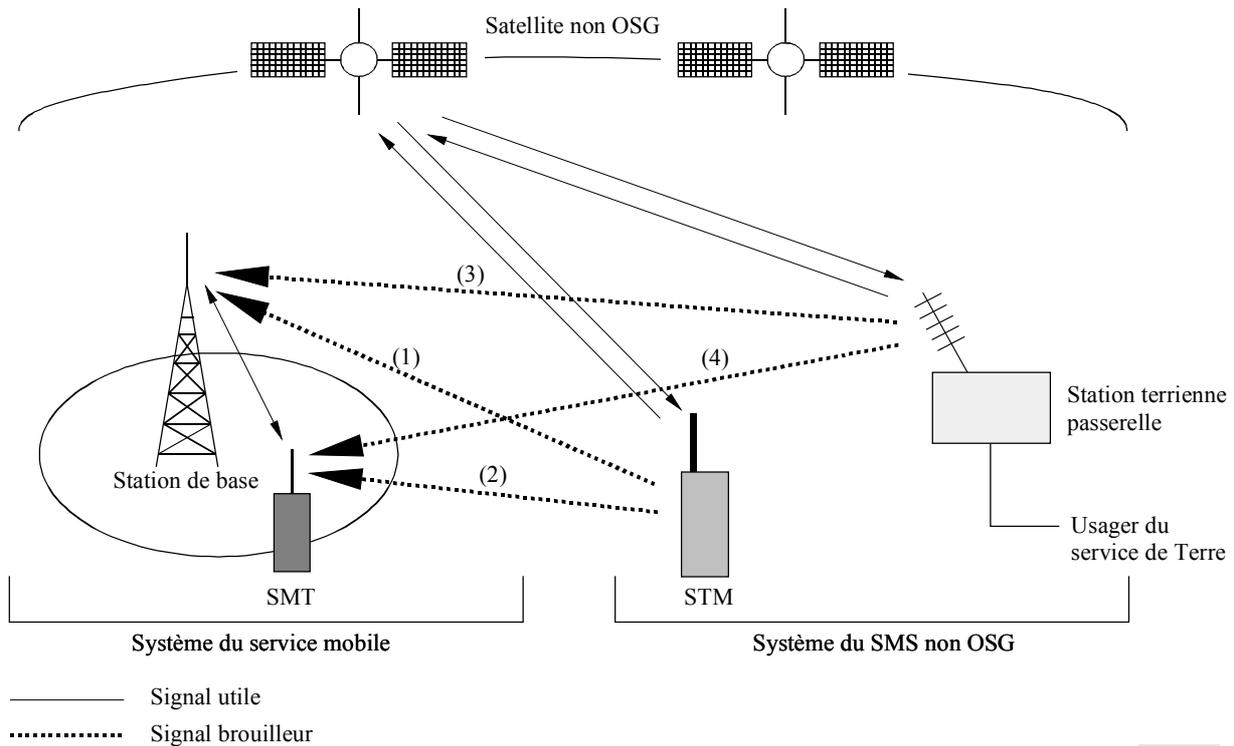
**2 Modèle de brouillage entre un système non OSG du SMS et un système de communication mobile terrestre**

La bande de fréquences 148-149,9 MHz attribuée aux systèmes non OSG du SMS dans le sens Terre vers espace est utilisée pour les liaisons aller et retour des systèmes de communication mobiles terrestres. Comme l'indique la Fig. 1, le fonctionnement du système non OSG du SMS dans la bande de fréquences 148-149,9 MHz pourrait donner lieu à quatre cas de brouillage entre les deux systèmes:

- (1) brouillage occasionné par la station STM du système non OSG du SMS à la station de base du système existant du service mobile;
- (2) brouillage occasionné par la station STM à la station SMT du système existant du service mobile;
- (3) brouillage occasionné par la station terrienne passerelle du système non OSG du SMS à la station de base;
- (4) brouillage occasionné par la station terrienne passerelle à la station SMT.

Parmi ces quatre cas de brouillage, les cas (1) et (2) correspondent à des trajets de brouillage entre la station STM et les systèmes existants du service mobile.

FIGURE 1

**Modèle de brouillage entre un système non OSG du service mobile et un système du service mobile**

1039-01

La présente Annexe décrit la méthode d'évaluation de la probabilité de brouillage sur les trajets (1) et (2).

En ce qui concerne les trajets de brouillage (1) et (2), il est nécessaire d'étudier les systèmes existants dans les deux modes d'exploitation suivants:

- mode communication,
- mode attente.

En mode attente, aucune information n'est échangée entre deux stations, mais les récepteurs du service mobile sont en service et peuvent recevoir un appel ou une information. Quand le système du service mobile est en mode attente, le silencieux du récepteur est coupé pendant la durée de la salve émise par la station terrienne mobile  $+\alpha$  (max. 450 ms  $+\alpha$ , par exemple) compte tenu de la probabilité de brouillage mentionnée ci-dessous, à l'exception des récepteurs utilisant le silencieux à commande par tonalité.

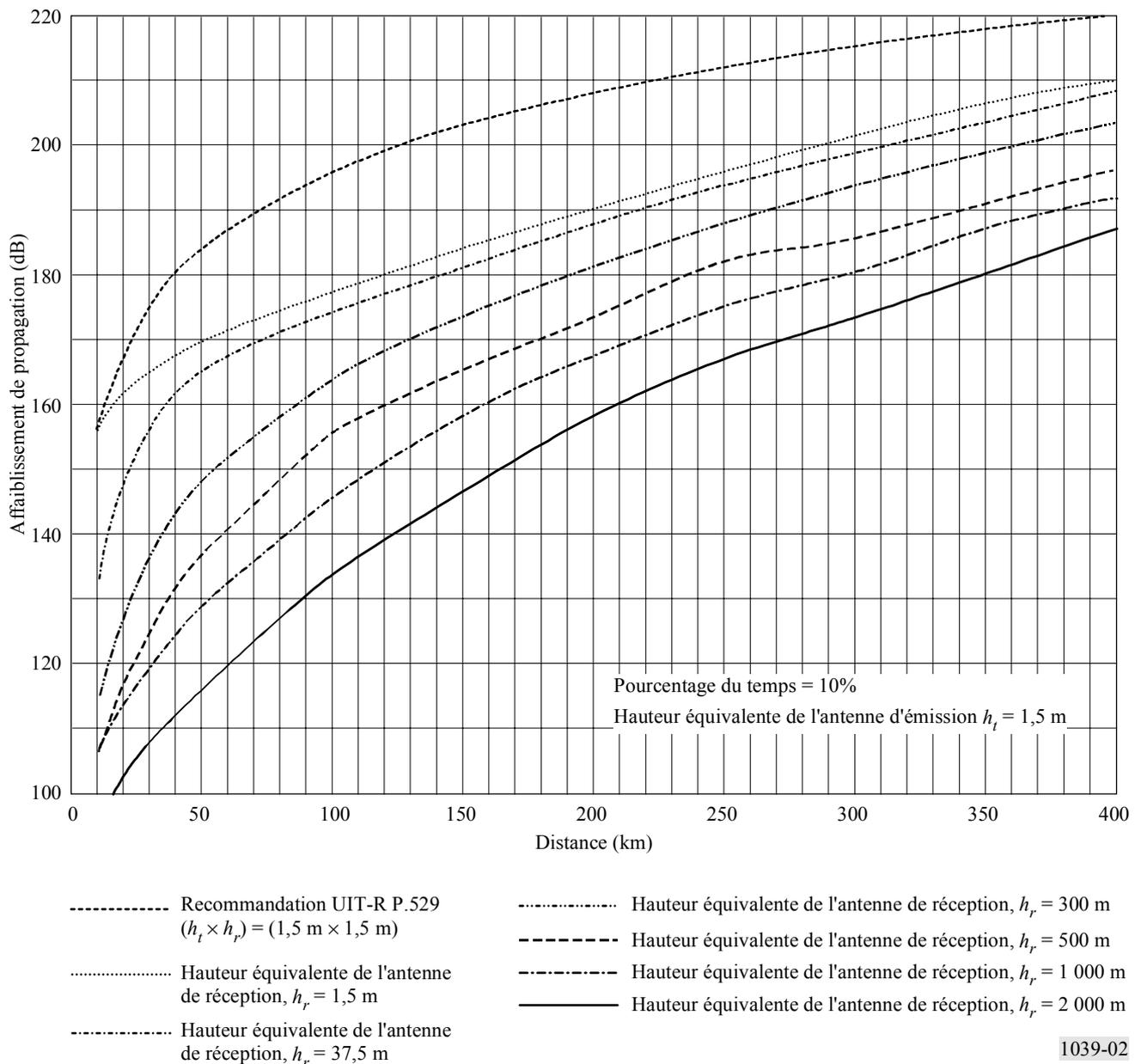
Les paragraphes suivants présentent la méthodologie nécessaire pour l'évaluation de la probabilité de brouillage dans les trajets de brouillage (1) et (2) (voir la Fig. 1), les systèmes existants étant à la fois en mode communication et en mode attente.

### 3 Affaiblissement de propagation entre la station STM et une station de base du système du service mobile

Parmi les textes de l'UIT-R, la Recommandation UIT-R P.370 décrit l'affaiblissement de propagation en ondes métriques (antennes à haute altitude). Cette Recommandation présente les résultats de mesures du champ des signaux de télévision en ondes métriques au niveau d'une station de réception située à  $d$  km. Les résultats sont donnés pour diverses hauteurs d'antenne. Pour les raisons susmentionnées, l'affaiblissement de propagation qui détermine la distance de coordination de brouillages entre la station STM et la station de base est évalué dans ce modèle conformément à la Recommandation UIT-R P.370. La Fig. 2 présente l'affaiblissement de propagation en ondes métriques en fonction de la distance de propagation pour les hauteurs d'antenne indiquées dans la Recommandation UIT-R P.370. Le calcul de l'affaiblissement de propagation (Fig. 2) est effectué avec des valeurs de temps de 10%. Pour d'autres bandes de fréquences, la Fig. 2 devra être mise à jour.

FIGURE 2

Affaiblissement de propagation dans la bande des ondes métriques (d'après la Recommandation UIT-R P.370)



#### 4 Paramètres du système

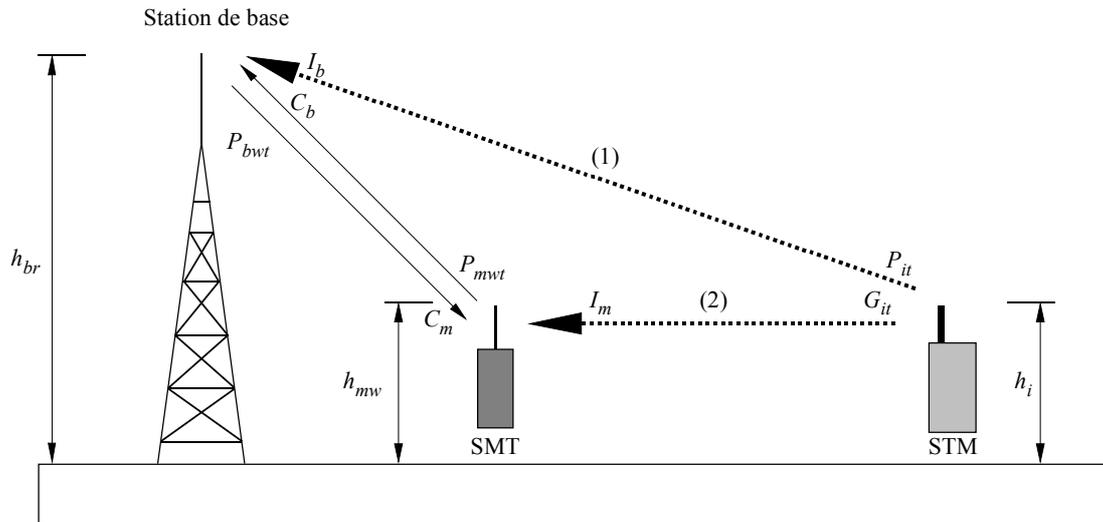
La Fig. 3 représente le modèle de brouillage causé par la station STM à la station de base et à la station SMT du système existant du service mobile. Les paramètres de système de la station de base, de la station SMT et de la station STM utilisés dans le présent contexte sont résumés ci-dessous. L'indice  $i$  désigne le système brouilleur, l'indice  $w$  le système brouillé, l'indice  $t$  l'émetteur et l'indice  $r$  le récepteur;  $b$  et  $m$  indiquant respectivement la station de base et la station SMT.

##### 4.1 Paramètres de la station STM (station brouilleuse):

- Côté émission
  - puissance d'émission:  $P_{it}$  (dBm)
  - gain de l'antenne d'émission:  $G_{it}$  (dB)
  - hauteur d'antenne de la station STM:  $h_i$  (m)

FIGURE 3

## Modèle de brouillage entre la station STM et le système existant du service mobile



1039-03

## 4.2 Paramètres de la station de base (station brouillée):

- Côté émission
  - puissance d'émission:  $P_{bwt}$  (dBm)
  - gain de l'antenne d'émission:  $G_{bwt}$  (dB)
  - pertes dans la ligne d'alimentation:  $L_{bwt}$  (dB)
  - hauteur d'antenne de la station de base:  $h_{bw}$  (m)
- Côté réception
  - gain de l'antenne de réception:  $G_{bwr}$  (dB)
  - pertes dans la ligne d'alimentation:  $L_{bwr}$  (dB)
  - hauteur d'antenne de la station de base:  $h_{bw}$  (m)
  - sensibilité du récepteur:  $C_b$  (dBm)
  - rapport  $C/I$  requis:  $(C/I)_{br}$  (dB)
  - niveau admissible de brouillage:  $I_b$  (dBm)
  - sensibilité du silencieux:  $P_{bsd}$  (dBm)

## 4.3 Paramètres de la station SMT (station brouillée):

- Côté émission
  - puissance d'émission:  $P_{mwt}$  (dBm)
  - gain de l'antenne d'émission:  $G_{mwt}$  (dB)
  - hauteur d'antenne de la station SMT:  $h_{mw}$  (m)
- Côté réception
  - gain de l'antenne de réception:  $G_{mwr}$  (dB)
  - hauteur d'antenne de la station SMT:  $h_{mw}$  (m)
  - sensibilité du récepteur:  $C_m$  (dBm)
  - rapport  $C/I$  requis:  $(C/I)_{mr}$  (dB)
  - niveau admissible de brouillage:  $I_m$  (dBm)
  - sensibilité du silencieux:  $P_{msd}$  (dBm).

## 5 Calcul de la distance de coordination des brouillages quand le système existant du service mobile est en mode communication

### 5.1 Brouillage causé par la station STM à la station de base (Trajet (1) de la Fig. 3)

A supposer que  $d_1$  est la distance maximale entre la station de base et la station SMT et que le signal émis par la station SMT peut être reçu avec le rapport  $S/N$  nécessaire au niveau de la station de base. Cette distance  $d_1$  est équivalente au rayon de la zone de service du système existant du service mobile; en particulier, le cercle de rayon  $d_1$  centré sur la station de base représente la zone de service du système du service mobile. Soit  $C_b$  la sensibilité du récepteur de la station de base, on obtient l'équation (1) compte tenu des hypothèses susmentionnées:

$$C_b = P_{mwt} + G_{mwt} - L(d_1) + G_{bwr} - L_{bwr} \quad (1)$$

où:

$P_{mwt}$ : puissance d'émission de la station SMT

$G_{mwt}$ : gain de l'antenne d'émission de la station SMT

$L(d_1)$ : affaiblissement de propagation sur la distance  $d_1$  entre la station de base et la station SMT

$G_{bwr}$ : gain de l'antenne de réception de la station de base

$L_{bwr}$ : affaiblissement à la réception dans la ligne d'alimentation de la station de base.

A partir de l'équation (1), l'affaiblissement de propagation entre la station de base et la station SMT est exprimée par l'équation (2), la distance de propagation,  $d_1$ , étant obtenue à partir de la Fig. 2:

$$L(d_1) = P_{mwt} + G_{mwt} + G_{bwr} - L_{bwr} - C_b \quad (2)$$

Le rapport  $(C/I)_{br}$  requis au niveau de la station de base est donné par l'équation (3):

$$(C/I)_{br} = C_b - I_b \quad (3)$$

où:

$(C/I)_{br}$ : rapport entre la puissance du signal utile requis et la puissance du signal brouilleur au niveau de la station de base,

$C_b$ : sensibilité du récepteur de la station de base,

$I_b$ : puissance admissible du signal brouilleur émis par la station STM.

A partir de l'équation (3), le niveau admissible de brouillage est exprimé par l'équation (4):

$$I_b = C_b - (C/I)_{br} \quad (4)$$

En supposant que plusieurs systèmes non OSG du SMS fonctionnent dans la même bande, le niveau admissible de puissance du brouillage obtenu par l'équation (4) sera réparti entre ces systèmes non OSG du SMS. Dans le cas de multiples systèmes non OSG du SMS fonctionnant dans la même bande de fréquences, l'équation (4) sera remplacée par l'équation (5):

$$I_b = C_b - (C/I)_{br} - \alpha \quad (5)$$

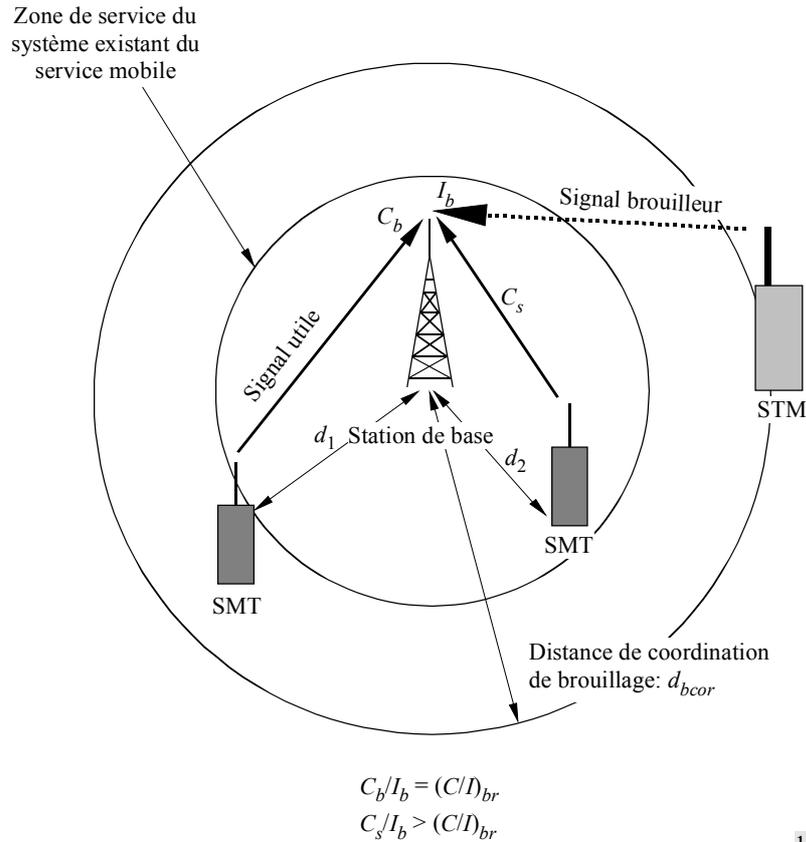
où  $\alpha$  est le facteur de correction pour exploitation de multiples systèmes non OSG du SMS dans la même bande de fréquences. Lorsque chaque système non OSG du SMS peut utiliser la bande de fréquences spécialisée (en utilisant la méthode de segmentation), le niveau admissible de puissance brouilleuse pour chaque système est donné par l'équation (4).

Quand la station de base et la station STM sont séparées par la distance de coordination,  $d_{bcor}$ , la puissance brouilleuse rayonnée par la station STM et reçue par la station équivaldrait au niveau admissible de brouillage,  $I_b$ . On obtient alors l'équation (6). Les relations entre les différents éléments sont présentées à la Fig. 4.

$$I_b = P_{it} + G_{it} - L(d_{bcor}) + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} \quad (6)$$

où  $I_{so}$  représente le découplage dans le cas où le système non OSG du SMS adopte les canaux situés entre les canaux existants du système. L'Annexe 2 présente les simulations sur ordinateur concernant l'amélioration du niveau de découplage des canaux adjacents que l'on obtient avec une telle configuration.

FIGURE 4

**Distance de coordination de brouillage pour la station de base en mode communication**

1039-04

Quand la station de base et la station STM sont séparés par la distance de coordination,  $d_{bcor}$ , l'affaiblissement de propagation,  $L(d_{bcor})$ , est exprimé par l'équation (7) à partir des équations (4) et (6):

$$\begin{aligned}
 L(d_{bcor}) &= P_{it} + G_{it} + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} - I_b \\
 &= P_{it} + G_{it} + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} - C_b + (C/I)_{br}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

On obtient  $d_{bcor}$ , représentant la distance de coordination entre la station de base et la station STM quand la station SMT du système existant se trouve en bordure de la zone de service, à partir de l'équation (7) et de la Fig. 2. En d'autres termes, on suppose que toutes les SMT fonctionnent en bordure de la zone de service. On comprend évidemment d'après la Fig. 4 que les stations SMT situées plus près de la station de base bénéficient d'un rapport  $S/N$  plus élevé.

## 5.2 Brouillage causé par la station STM à la station SMT (Trajet (2) de la Fig. 3)

On suppose que  $d_2$  est la distance maximale séparant la station de base de la station SMT, laquelle reçoit le signal émis par la station de base avec le rapport  $S/N$  requis. Cette distance  $d_2$  est équivalente à la distance maximale à laquelle la station SMT reçoit les signaux de la station de base avec le rapport  $S/N$  requis.

Compte tenu des hypothèses formulées ci-dessus, la sensibilité du récepteur de la station SMT,  $C_m$ , est donnée par l'équation (8):

$$C_m = P_{bwt} + G_{bwt} - L_{bwt} - L(d_2) + G_{mwr} \tag{8}$$

où:

- $P_{bwt}$ : puissance d'émission de la station de base
- $G_{bwt}$ : gain de l'antenne d'émission de la station de base
- $L_{bwt}$ : affaiblissement à l'émission dans la ligne d'alimentation de l'antenne de la station de base
- $L(d_2)$ : affaiblissement de propagation sur la distance  $d_2$  séparant la station de base de la station SMT
- $G_{mwr}$ : gain de l'antenne de réception de la station SMT.

A partir de l'équation (8), l'affaiblissement de propagation entre la station de base et la station SMT peut être exprimée par l'équation (9):

$$L(d_2) = P_{bwt} + G_{bwt} - L_{bwt} + G_{mwr} - C_m \quad (9)$$

où:

$(C/I)_{mr}$ : rapport entre la puissance du signal utile requis et la puissance brouilleuse au niveau de la station SMT

$C_m$ : sensibilité du récepteur de la station SMT

$I_m$ : puissance de brouillage admissible

ce qu'exprime l'équation (10):

$$(C/I)_{mr} = C_m - I_m \quad (10)$$

A partir de l'équation (10), le niveau de brouillage admissible,  $I_m$ , est exprimé par l'équation (11):

$$I_m = C_m - (C/I)_{mr} \quad (11)$$

Lorsque plusieurs systèmes non OSG du SMS fonctionnent dans la même bande, il faut appliquer le facteur de correction défini à l'équation (5) pour obtenir le niveau admissible de puissance brouilleuse admissible pour chaque système non OSG du SMS.

Lorsque la station SMT et la station STM sont séparées par la distance de coordination,  $d_{mcor}$ , la puissance brouilleuse rayonnée par la station STM et reçue par la station SMT correspond à la puissance brouilleuse admissible,  $I_m$ , (voir la Fig. 5), ce qu'exprime l'équation (12):

$$I_m = P_{it} + G_{it} - L(d_{mcor}) + G_{mwr} - I_{so} \quad (12)$$

A partir des équations (11) et (12), on peut exprimer l'affaiblissement de propagation sur la distance de coordination,  $L(d_{mcor})$ , par l'équation (13):

$$\begin{aligned} L(d_{mcor}) &= P_{it} + G_{it} + G_{mwr} - I_{so} - I_m \\ &= P_{it} + G_{it} + G_{mwr} - I_{so} - C_m + (C/I)_{mr} \end{aligned} \quad (13)$$

On obtient  $d_{mcor}$ , distance de coordination entre la station SMT et la station STM, à partir de l'équation (13) et de la Fig. 2. A cette distance de coordination, la station SMT se trouve en bordure de la zone de service du système existant. Dans cette configuration, qu'illustre la Fig. 5, les stations mobiles terrestres qui se situent plus près de la station de base peuvent bénéficier d'un rapport  $S/N$  plus élevé.

## 6 Calcul de la distance de coordination dans le cas où le système existant du service mobile est en mode veille

### 6.1 Brouillage causé par la station STM à la station de base (Trajet (1) de la Fig. 3)

Comme l'illustre la Fig. 6, on suppose que la puissance brouilleuse reçue par la station de base est égale à la sensibilité de son silencieux quand la station STM émet à une distance  $d_{bi}$  de la station de base. Dans ce cas, la distance  $d_{bi}$  représente la distance de coordination entre la station STM et la station de base en mode veille. La sensibilité du silencieux de la station de base,  $P_{bsd}$ , est donnée par l'équation (14):

$$P_{bsd} = P_{it} + G_{it} - L(d_{bi}) + G_{bwr} - L_{bwr} - I_{so} \quad (14)$$

$L(d_{bi})$  est la distance, entre la station de base et la station STM, à laquelle la station de base reçoit une puissance brouilleuse égale à la sensibilité de son silencieux. On obtient la distance de coordination,  $d_{bi}$ , à partir de l'équation (14) et de la Fig. 2.

### 6.2 Brouillage causé par la station STM à la station SMT (Trajet (2) de la Fig. 3)

Comme l'illustre la Fig. 7, on suppose que la station STM reçoit une puissance brouilleuse égale à la sensibilité de son silencieux quand la station STM émet à une distance  $d_{mi}$  de la station SMT. Dans ce cas, la distance  $d_{mi}$  représente la distance de coordination entre la station STM et la station SMT en mode veille. La sensibilité du silencieux,  $P_{msd}$ , est donnée par l'équation (15):

$$P_{msd} = P_{it} + G_{it} - L(d_{mi}) + G_{mwr} - L_{mwr} - I_{so} \quad (15)$$

$L(d_{mi})$  est la distance, entre la station SMT et la station STM, à laquelle la station SMT reçoit une puissance brouilleuse égale à la sensibilité de son silencieux. On obtient la distance de coordination,  $d_{mi}$ , à partir de l'équation (15) et de la Fig. 2.

FIGURE 5  
**Distance de coordination de brouillage pour la station SMT en mode communication**

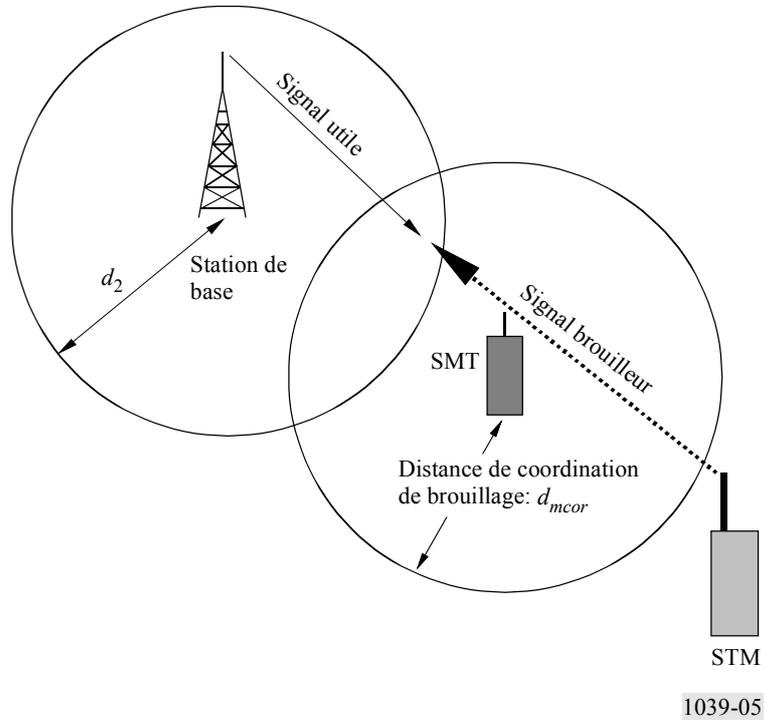


FIGURE 6  
**Distance de coordination de brouillage pour la station de base en mode veille**

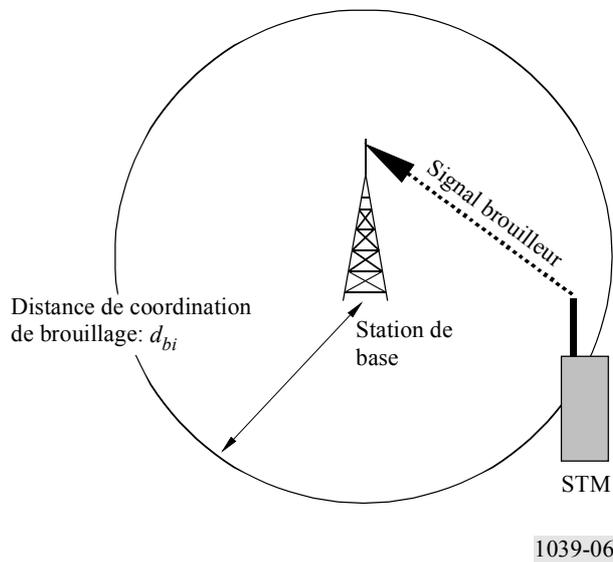
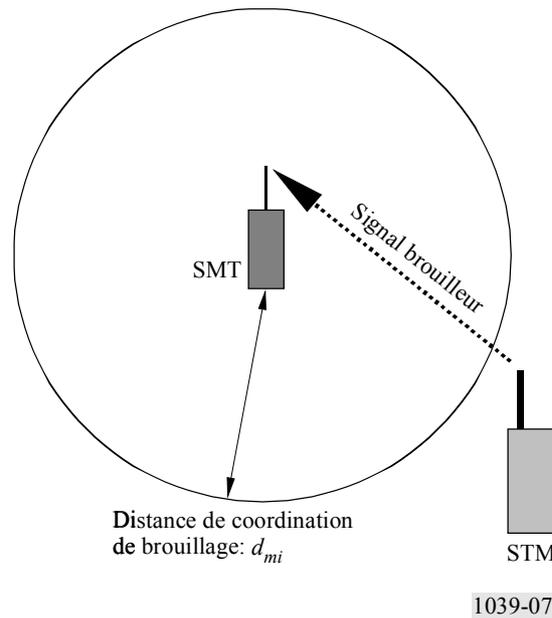


FIGURE 7  
Distance de coordination de brouillage pour la station SMT  
en mode veille



## 7 Evaluation de la probabilité de brouillage

Dans les paragraphes précédents, nous avons exposé les méthodes d'évaluation des distances de coordination pour deux trajets de brouillage potentiels entre la station STM et la station de base et entre la station STM et la station SMT, dans les cas où les systèmes existants sont respectivement en mode communication et en mode veille. Les paragraphes qui suivent décrivent la méthode d'évaluation de la probabilité de brouillage.

### 7.1 Probabilité d'émission dans le même canal du système du service mobile et de la station STM

Soit  $P_I$  la probabilité qu'un canal utilisé par le système du service mobile reçoive un brouillage occasionné par une station STM.  $P_I$  est évalué comme suit:

$$P_I = \sum_{i=0}^m (P(\text{Brouillage causé au service mobile} | i \text{ canaux actifs}) \times P(i \text{ canaux actifs})) \quad (16)$$

où  $P(i \text{ canaux actifs})$  indique la probabilité que  $i$  canaux soient utilisés par des stations STM actives du système à satellites et  $m$  est le nombre maximal de canaux simultanément en service pour un satellite non OSG. On peut évaluer le cas le plus défavorable de  $P_I$  pour les conditions suivantes:

$$P(m \text{ canaux actifs}) = 1$$

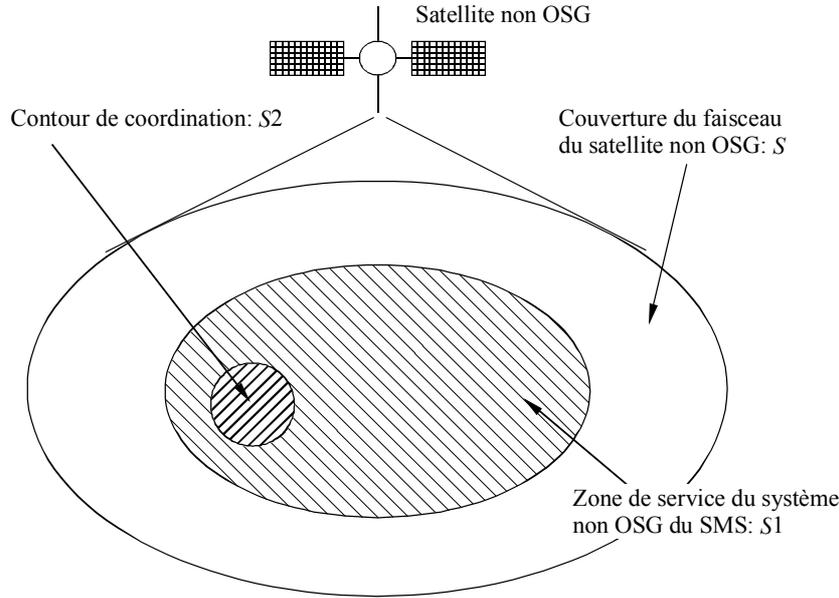
$$P(i \text{ canaux actifs}) = 0 \quad (i \neq m)$$

En supposant que les stations STM sont réparties de façon uniforme dans la zone de couverture du SMS, on obtient le nombre maximal de canaux simultanément en service pour un satellite non OSG à partir de l'équation (17):

$$m(S2) = m \times \frac{S2}{S1} \quad (17)$$

où  $S1$  représente la couverture de service du système du SMS et  $S2$  le contour de coordination (rayon égal à la distance de coordination). La Fig. 8 montre la relation entre  $S1$  et  $S2$ .

FIGURE 8  
Schéma de détermination de la probabilité d'activation  
d'une station STM



1039-08

En effet,  $P$  (brouillage causé au SM |  $i$  canaux actifs) atteint sa valeur maximale pour  $i = m(S2)$ . Ainsi, l'équation de calcul de  $P_I$  dans le cas le plus défavorable s'écrit:

$$P_I = P(\text{Brouillage causé au service mobile} | m(S2) \text{ canaux actifs}) \quad (18)$$

Si cette hypothèse est trop pessimiste, il est possible d'appliquer un facteur  $\eta_L$  pour prendre en compte le pourcentage de temps pendant lequel le système non OSG du SMS est utilisé:

$$P_I = P(\text{Brouillage causé au service mobile} | m(S2) \text{ canaux actifs}) \times \eta_L \quad (19)$$

Soit  $M$  le nombre maximal de canaux disponibles pour le système non OSG du SMS, on obtient la probabilité qu'un canal sélectionné par la station STM sur  $m(S2)$  canaux cause du brouillage au système du service mobile utilisant le même canal,  $\eta_c$ , à partir de l'équation (20):

$$\eta_c = \frac{m(S2)}{M} \times \gamma \quad (20)$$

où  $\gamma$  est le facteur de correction de la probabilité de sélection de canaux de la station STM. Puisque  $M$  canaux ne sont pas souvent uniformément actifs compte tenu de l'effet du système d'assignation dynamique des canaux (DCAAS, *dynamic channel activity assignment system*) en fonction de l'activité observée, on appliquerait le facteur de correction au nombre maximal de canaux disponibles.

A partir des équations (17) et (19), la probabilité  $P_I$  donnée par l'équation (18) peut aussi s'écrire:

$$\begin{aligned} P_I &= \eta_c \times \eta_L \\ &= \frac{m(S2)}{M} \times \gamma \times \eta_L = \frac{m}{M} \times \gamma \times \frac{S2}{S1} \times \eta_L \end{aligned} \quad (21)$$

Avec l'équation (21), on obtient la zone de  $S2$  à l'aide de la distance de coordination donnée par les équations (7), (13), (14) et (15).

Quand la station de base ou la station STM du système existant du service mobile est en mode communication, la probabilité  $P_I$  est obtenue respectivement à partir des équations (22) et (23):

*Station de base du système du service mobile en mode communication*

$$P_{bc} = \left( \frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{bcor})^2}{S1} \quad (22)$$

*Station SMT du système du service mobile en mode communication*

$$P_{mc} = \left( \frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{mcor})^2}{S1} \quad (23)$$

Quand la station de base ou la station SMT du système existant du service mobile est en mode veille, la probabilité  $P_I$  est obtenue respectivement à partir des équations (24) et (25):

*Station de base du système du service mobile en mode veille*

$$P_{bw} = \left( \frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{bi})^2}{S1} \quad (24)$$

*Station SMT du système du service mobile en mode veille*

$$P_{mw} = \left( \frac{m}{M} \right) \times \gamma \times \eta_L \times \pi \times \frac{(d_{mi})^2}{S1} \quad (25)$$

## 7.2 Autres paramètres à prendre en compte

En ce qui concerne l'évaluation de la probabilité de brouillage causé par la station SMT au système existant en mode communication ou en mode veille, il est nécessaire, en plus de la probabilité qu'un canal utilisé par le système de la station mobile soit brouillé par une station STM dans le même canal, de prendre en compte les paramètres qui suivent.

*Paramètre 1:* Pourcentage de temps pendant lequel le système existant est en mode communication

On suppose que le pourcentage de temps pendant lequel le système existant est en mode communication est  $\eta_m$ . Dans la pratique, le système existant fonctionne toujours en mode unidirectionnel au moyen du terminal à bouton-poussoir. Dans ce cas, le pourcentage de temps d'occupation du canal dans chaque sens en communication est de 1/2 de  $\eta_m$ .

*Paramètre 2:* Probabilité de non-détection par le système DCAAS du canal actif utilisé par le système existant

Le système DCAAS placé à bord du satellite a la capacité de détecter tous les canaux utilisés par le système existant. Un blocage pourrait toutefois avoir lieu entre la station SMT et le satellite qui désactive le système DCAAS pour détecter les signaux émis par la station SMT. En conséquence, on suppose que la probabilité de non-détection, par le système DCAAS, du canal actif utilisé par le système existant est  $\eta_D$ .

*Paramètre 3:* Facteur de visibilité du satellite dans le cas de stations terriennes passerelles multiples

Si plusieurs stations terriennes passerelles sont installées dans une même zone, le nombre de satellites auxquels les stations STM peuvent accéder simultanément augmente et la probabilité de brouillage du système existant augmente également,  $\eta_G$  désigne le rapport entre le nombre de canaux disponibles dans une configuration à stations terriennes passerelles multiples et le nombre de canaux disponibles dans le cas d'une station terrienne passerelle unique.

*Paramètre 4:* Nombre de signaux brouilleurs dans la largeur de bande occupée par la porteuse du service mobile

Lorsque la largeur de bande occupée par la porteuse du système non OSG du SMS est plus étroite que celle occupée par la porteuse du service mobile, on observe des signaux brouilleurs multiples dans la largeur de bande occupée par la porteuse utile du service mobile. Dans ce cas, on peut prendre en compte le niveau de puissance du brouillage supplémentaire donné par l'équation (26) pour calculer le rapport  $C/I$ :

$$I = 10 \log \left( \frac{B_w}{B_i} \right) \quad (26)$$

où  $B_w$  et  $B_i$  représentent respectivement la largeur de bande occupée par la porteuse du service mobile et la largeur de bande occupée par la station STM. Il n'est pas nécessaire de prendre en compte le brouillage supplémentaire donné par l'équation (26) lorsque le système non OSG n'assigne pas plusieurs canaux à chaque grille de fréquences attribuée au système existant.

Pour évaluer la probabilité de brouillage, il est nécessaire d'utiliser, parmi les paramètres susmentionnés, les paramètres 1 à 4 quand le système existant est en mode communication et les paramètres 3 et 4 quand le système existant est en mode veille.

### 7.3 Probabilité de brouillage: vue d'ensemble

Compte tenu de ce qui précède, la probabilité de brouillage,  $P_t$ , pour deux trajets de brouillage potentiels entre la station STM et la station de base et entre la station STM et la station SMT, en mode communication et en mode veille, est exprimée par les équations suivantes:

- Système existant du service mobile en mode communication

$$P_t \text{ (station de base)} = P_{bc} \times \eta_D \times \eta_G \quad (27)$$

$$P_t(SMT) = P_{mc} \times \eta_D \times \eta_G \quad (28)$$

Il convient de noter que l'on peut calculer le pourcentage de temps de brouillage en multipliant  $P_t$  par le facteur  $\eta_m$ .

- Système existant du service mobile en mode veille

$$P_t \text{ (station de base)} = P_{bw} \times \eta_G \quad (29)$$

$$P_t(SMT) = P_{mw} \times \eta_G \quad (30)$$

## ANNEXE 2

### Méthodes et statistiques utilisées pour évaluer les possibilités de partage entre les émetteurs des stations terriennes du SMS au-dessous de 1 GHz et les stations mobiles

#### 1 Introduction

La présente Annexe décrit les méthodes employées afin de déterminer les possibilités de partage du spectre entre les émetteurs d'une station terrienne du SMS et des services mobiles. Ces méthodes peuvent servir de point de départ pour évaluer l'efficacité des limites de p.i.r.e. des STM fixées, le cas échéant, afin de pouvoir partager le spectre avec des services mobiles (voir la Note 1).

NOTE 1 – De plus, les transmissions en liaisons montantes de la STM ont une durée optimale du point de vue du partage avec certains services téléphoniques terrestres. Il a été signalé que cette valeur pourrait atteindre 500 ms. La durée de la période au cours de laquelle les transmissions de ce type interviendraient est actuellement à l'étude (une valeur de 1%, par périodes de 1 à 15 min, a été suggérée).

#### 2 Brouillage potentiel des services mobiles par le SMS

Les services mobiles en ondes métriques se caractérisent généralement par une modulation en fréquence des porteuses de signaux vocaux et de données, assignées sur une série de canaux régulièrement espacés. Les espacements de canaux observés comportent les valeurs suivantes: 12,5; 15; 25 et 30 kHz.

Les systèmes du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz utilisent parfois un algorithme d'assignation dynamique des canaux, permettant à la station spatiale d'identifier les canaux non occupés par les stations mobiles qui partagent le spectre. Aussi estime-t-on qu'il y aura normalement un espacement notable des fréquences (de 15 kHz ou moins) entre la bande de transmission du SMS et la fréquence centrale du récepteur de la station mobile. Toutefois, du point de vue de la présente méthodologie, il est encore impossible de prévoir l'efficacité du processus d'assignation dynamique des canaux; on suppose donc une distribution aléatoire des canaux sélectionnés pour la liaison montante du SMS, par échelon de 2,5 kHz (voir la Note 1) à l'intérieur des fréquences allouées aux services mobiles.

NOTE 1 – En général, cette valeur d'échelon introduit des contraintes pratiques de mise en œuvre du synthétiseur avec un affaiblissement réduit.

### 3 Résumé de la méthode

La détermination des possibilités de brouillage préjudiciable des stations mobiles par les émetteurs des STM doit se faire en plusieurs étapes. La présente section décrit la méthodologie proposée à cet effet. Les paragraphes ci-après donnent une description détaillée de chacune des étapes.

#### 3.1 Contour de coordination

La première étape consiste à déterminer un contour de coordination type autour d'un récepteur du service mobile à protéger. Ce contour est défini par la distance à laquelle un émetteur particulier ou un groupe d'émetteurs de STM produira une puissance surfacique supérieure à un niveau adopté au préalable en tant que critère de protection. Le calcul de cette distance exige la connaissance préalable des valeurs suivantes:

- $p.i.r.e._{stm}$ : valeur maximum de la p.i.r.e. de la STM (W)
- $BW_{stm}$ : largeur de bande du signal de l'émetteur de la STM (Hz)
- $pf d_t$ : puissance surfacique considérée comme préjudiciable ( $W/m^2$ )
- $N_t$ : nombre maximum probable d'émetteurs de STM fonctionnant simultanément
- $L(d)$ : affaiblissement de propagation en fonction de la distance.

Si l'on peut établir que le contour de coordination est suffisamment petit par comparaison aux déplacements probables des stations mobiles et des STM, alors il n'est pas nécessaire de poursuivre les calculs. Par contre, si la taille du contour est trop importante, les calculs doivent se dérouler selon les étapes indiquées ci-dessous.

#### 3.2 Calcul de la probabilité de dépassement du seuil

Des techniques probabilistes permettent de déterminer le pourcentage de temps pendant lequel la puissance surfacique dépassera le seuil de protection au niveau du récepteur d'une station mobile donnée. Si la probabilité correspondante est suffisamment faible, le dépassement du niveau de protection n'est pas considéré comme donnant lieu à un brouillage préjudiciable.

##### 3.2.1 Zone géographique faisant l'objet des calculs

La première étape consiste à définir une zone dans laquelle les émissions des STM contribueront de façon notable aux puissances surfaciques enregistrées au niveau du récepteur mobile. En cas d'utilisation d'une zone trop étendue, la probabilité de dépassement calculée ci-dessous risque alors d'être sous-estimée. Cette zone est définie ordinairement par une circonférence correspondant au contour de protection mentionné plus haut.

##### 3.2.2 Fonction de densité de probabilité de la puissance surfacique d'un émetteur à porteuse unique

Si l'on considère une zone donnée, une fonction discrète de densité de probabilité (voir la Note 1) est ensuite calculée pour les valeurs prévues de la puissance surfacique au niveau d'un récepteur mobile. Ce processus se déroule en deux étapes, à savoir la définition d'une variable aléatoire représentant la distribution probabiliste de la distance séparant la STM du récepteur mobile, puis l'évaluation de la probabilité de la puissance surfacique observée à cette distance, compte tenu de la p.i.r.e., du mode de propagation et de l'éventuelle discrimination du filtre des émissions de la STM.

NOTE 1 – La fonction de densité de probabilité calculée pour une variable aléatoire définit la pondération probabiliste de chacune des valeurs susceptibles d'être prises par ladite variable. L'intégrale de la fonction de densité de probabilité est égale à l'unité. Si pour chacune des valeurs de variable aléatoire, on calcule l'intégrale de la fonction de densité de probabilité, de moins l'infini jusqu'à la valeur en question de la variable aléatoire, on définit alors la fonction de distribution cumulative.

##### 3.2.3 Fonction de densité de probabilité de la puissance surfacique en exploitation à porteuses multiples

La fonction de densité de probabilité de puissance surfacique est donnée par la fonction ainsi définie, en cas d'activation d'un émetteur à porteuse unique de STM. Quant aux fonctions de densité de probabilité de puissance surfacique associées à plusieurs émetteurs de STM, elles sont déduites de la fonction de densité de probabilité correspondant à une exploitation à porteuse unique au moyen d'une méthode convolutionnelle présentée au § 7.

##### 3.2.4 Probabilité d'activation des émetteurs des STM

La validité des distributions de puissance surfacique est nécessairement tributaire de la probabilité effective d'activation d'un ou de plusieurs émetteurs de STM à l'intérieur de la zone où se trouve le récepteur à protéger. Ces probabilités dépendent de l'intensité du trafic et sont normalement représentées par la distribution de Poisson. Cette partie des calculs dépend certes de la méthode d'accès adoptée pour le système du SMS, mais il a été possible de délimiter les probabilités de transmission maximales en supposant une utilisation particulièrement efficace des canaux disponibles par l'exploitant du SMS.

### 3.2.5 Probabilité de dépassement

La probabilité de dépassement effective dépend de l'importance relative du trafic du système du SMS au départ de la zone délimitée par le contour de protection du récepteur mobile. Ordinairement le rapport de la zone de couverture de la station spatiale du SMS à la surface délimitée par le contour de protection ne dépasse pas 0,1%. Compte tenu de l'impossibilité de connaître la distribution effective du trafic du système avant sa mise en service, la méthode indiquée pour calculer la probabilité de dépassement montre comment assimiler ce facteur à un paramètre. Cette façon de procéder facilitera l'analyse des effets des niveaux de trafic prévus sur les risques de brouillage préjudiciable d'une station mobile.

### 3.2.6 Probabilité de dépassement en fonction du niveau de brouillage réel

La valeur calculée de la probabilité de dépassement surestime en fait les risques de brouillage préjudiciable, et ce pour les raisons suivantes:

- les calculs ont été faits en supposant que toutes les liaisons mobiles restaient actives, en émission ou en réception;
- les calculs reposent en outre sur l'hypothèse que chacun des récepteurs mobiles est utilisé à sa distance de fonctionnement maximum (seuil de qualité de fonctionnement minimum) sans marge de liaison supplémentaire; or, certains systèmes peuvent être dotés d'un dispositif de commande de puissance, ce qui a pour effet d'éliminer ce phénomène;
- la méthode de calcul ne tient pas compte du fait que les techniques d'assignation dynamique des canaux utilisées par les systèmes du SMS éviteront les fréquences actives des récepteurs;
- les émissions des STM seront fréquemment de courte durée, de telle sorte qu'elles ne déclencheront vraisemblablement pas le dispositif éliminateur de bruit de fond sur nombre de récepteurs et ne seront sans doute pas audibles, si elles se produisent pendant l'acheminement de signaux vocaux sur les canaux téléphoniques; en revanche la qualité de fonctionnement risque d'être altérée quelle que soit la durée des émissions brèves si le canal est utilisé pour une liaison de transmission de données ou pour une liaison sémaphore.

## 4 Modèle de propagation de référence

Un modèle de liaison de référence est indiqué à des fins d'évaluation des risques de brouillage des stations mobiles ou des stations de base fonctionnant dans des bandes situées au-dessous de 1 GHz, par les émetteurs des liaisons montantes des systèmes LEO du SMS.

La valeur prévue de l'affaiblissement de propagation est fonction de la distance qui sépare l'émetteur du récepteur. La formule suivante donne en première approximation la valeur du champ à la réception:

$$E(1 \text{ kW}) = 70 - 40 \log(d) - 10 \log(f) + 20 \log(h_1 h_2) - 10 \log(0,02 p) [1 - \exp(-0,1d)]^2 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (31)$$

où:

- $f$ : fréquence comprise entre 20 et 1 000 MHz
- $d$ : longueur du trajet comprise entre 1 et 600 km
- $h_1, h_2$ : hauteurs d'antenne effectives (m) respectivement de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception, ayant chacune une valeur minimum de 1 m, le produit ( $h_1 h_2$ ) étant limité à une valeur maximum de 300 m<sup>2</sup>
- $p$ : pourcentage de temps pendant lequel la valeur du champ est dépassée, compris entre 1 et 50%

où  $E$  est évalué pour une puissance de 1 kW rayonnée par un doublet demi-onde (p.i.r.e. de 32,15 dBW) et ne doit pas dépasser la valeur en espace libre,  $E_{fs}$ , donnée en dB( $\mu\text{V/m}$ ) par:

$$E_{fs}(1 \text{ kW}) = 107 - 20 \log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (32)$$

La valeur calculée du champ doit être modifiée pour tenir compte de la p.i.r.e. de la station STM:

$$E = E(1 \text{ kW}) + (P_{mes} - 32,15)$$

où:

- $P_{mes}$ : p.i.r.e. de la station STM (dBW).

Si l'intensité de champ ainsi exprimée est convertie en puissance surfacique produite à une distance  $d$  par cet émetteur, on obtient:

$$pfd(d) = \frac{(E \times 10^{-6})^2}{120 \pi} \quad \text{W/m}^2 \quad (33)$$

$E$  étant exprimé en  $\mu\text{V/m}$ .

Pour évaluer le brouillage potentiel d'une station mobile par un émetteur des systèmes LEO du SMS, il conviendrait de choisir le produit de hauteurs d'antenne de l'ordre de  $10 \text{ m}^2$ . Cela tient compte du fait que les émetteurs de systèmes LEO du SMS peuvent être portatifs ou montés à bord de véhicules, et non montés sur pylône. Dans le cas des stations de base du service mobile comme celui des récepteurs aéroportés ou des émetteurs du SMS, il conviendrait d'utiliser une antenne de plus grande taille.

## 5 Probabilité de transmissions STM multiples

Comme indiqué au § 3.1, le potentiel de brouillage dépendra du nombre prévu d'émetteurs de STM qui fonctionneront simultanément et pourront contribuer à la puissance surfacique incidente totale au niveau du récepteur du service mobile. Les protocoles d'accès aléatoire (voir la Note 1) autorisent à titre occasionnel des émissions simultanées multiples sur la même fréquence et correspondent par conséquent au cas limite supérieur en termes de brouillage composite potentiel d'un récepteur de station mobile. La probabilité de fonctionnement simultané de plusieurs émetteurs est donnée par la loi de Poisson:

$$P_a(n) = \frac{\Lambda^n}{n!} \cdot e^{-\Lambda} \quad (34)$$

où:

$n$ : nombre d'émetteurs fonctionnant simultanément

$\Lambda$ : nombre moyen d'émissions par unité de temps.

NOTE 1 – De nombreux protocoles d'accès aléatoire sont appelés protocoles «ALOHA», du nom d'un type spécifique de protocole d'accès aléatoire.

Le choix du type particulier de protocole d'accès aléatoire déterminera celui de la valeur appropriée de  $\Lambda$ . Les protocoles d'accès aléatoire par créneaux temporels permettent d'atteindre le meilleur taux d'acheminement du trafic, soit une valeur théorique maximum de 36,8%; les valeurs limites réalisables dans la pratique sont proches de 30%. Cela correspond à une valeur double du trafic et de  $\Lambda$ , par comparaison à une technique simple d'accès sans découpage dans le temps. Le maintien de la qualité de service exige que les systèmes soient conçus pour fonctionner en observant la contrainte de débit liée au protocole d'accès aléatoire. Aussi, bien que l'on puisse constater l'existence de courtes périodes de charge de trafic au-delà des niveaux assurant la stabilité des circuits, on peut raisonnablement supposer que la charge de trafic des systèmes devra être limitée à des valeurs plus faibles, si les exploitants de ces systèmes veulent conserver la clientèle des usagers.

Le choix d'une valeur de  $\Lambda = 0,4$  dans l'expression de la loi de Poisson donne des crêtes de charge susceptibles d'être atteintes dans la pratique, en ce qui concerne le protocole d'accès aléatoire par créneaux temporels. Le Tableau 1 indique la probabilité de fonctionnement simultané de 0, 1, 2, ..., 6 émetteurs pour  $\Lambda = 0,4$ ; d'après ce tableau la probabilité de fonctionnement simultané de plus de quatre émetteurs est de 0,00001. Il est donc indiqué de choisir une valeur  $N_f = 4$ , bien que l'utilisation d'autres valeurs puisse être envisagée.

TABLEAU 1

### Valeurs représentatives des probabilités d'émission des STM

$n$	$P_a(n)$	$C_a(n)^{(1)}$	$1 - C_a(n)$
0	0,670320	0,670320	0,329680
1	0,268128	0,938448	0,061552
2	0,053626	0,992074	0,007926
3	0,007150	0,999224	0,000776
4	0,000715	0,999939	0,000061
5	0,000057	0,999996	0,000004
6	0,000004	1,000000	0,000000

<sup>(1)</sup>  $C_a(n)$ : fonction de distribution cumulative de  $P_a(n)$ .

## 6 Evaluation de la répartition statistique de la puissance surfacique en exploitation à porteuse unique

L'évaluation de la répartition statistique de la puissance surfacique en exploitation à porteuse unique repose sur deux principales hypothèses: d'une part, l'affaiblissement de propagation, entre STM et récepteur du service mobile, est fonction de la distance qui les sépare et, d'autre part, la répartition statistique de toutes les distances de séparation possibles est connue. En ce qui concerne la première hypothèse, voir le modèle d'affaiblissement de propagation indiqué au § 4; quant à la seconde, elle suppose une densité uniforme de STM (terminaux par m<sup>2</sup>). Il serait possible d'utiliser des distributions moins simples, mais leur choix signifierait implicitement qu'une caractéristique particulière du récepteur du service mobile - élément *a priori* sans aucun rapport avec la disposition des stations terriennes mobiles - influencerait d'une façon ou d'une autre sur la répartition desdites STM.

Il est montré sans difficulté qu'une densité uniforme de STM correspond à une fonction de densité de probabilité de type rampe unitaire pour la variable aléatoire qui représente la distance séparant les STM et le récepteur du service mobile. Cette fonction discrète de densité de probabilité est définie comme suit:

$$P_s(d_i) = 2d_i / R^2 \quad (35)$$

où:

$d_i$ : valeurs discrètes des distances de séparation

$R$ : rayon de la distance de coordination ayant pour centre le récepteur du service mobile (km).

Le filtrage discriminatoire des émissions de STM au niveau des récepteurs des stations mobiles doit être calculé, pour des fréquences décalées de 2,5 kHz à partir de la fréquence d'exploitation du récepteur du service mobile.

Considérons maintenant un tableau de valeurs indicées dont l'indice correspond à des niveaux de puissance surfacique, tandis que les valeurs du tableau correspondent à des probabilités. Toutes les valeurs initiales sont fixées à zéro.

Chaque valeur de la distance prise en compte dans le calcul de la densité de probabilité de la distance de séparation sert à calculer une puissance surfacique affaiblie par la discrimination du décalage de fréquence au niveau de chacune des fréquences décalées de 2,5 kHz. La probabilité associée à la distance est divisée par le nombre de calculs distincts de discrimination, puis ajoutée à la probabilité déjà associée à la puissance surfacique calculée. L'équation (36) résume ces calculs:

$$\sum_{i=0}^{N_i} \sum_{j=0}^{N_f} P_{pfd} \left( \frac{pfd(d_i)}{A_j} \right) + = \frac{P_s(d)}{N_f} \quad (36)$$

où:

$A_j$ : discrimination  $j \times 2,5$  kHz de la fréquence centrale du récepteur mobile

$N_f$ : nombre de canaux de fréquences utilisés par le système du SMS.

Le symbole «+ =» signifie que l'on ajoute le membre de droite de l'expression à la valeur actuelle de la somme variable du membre de gauche.

## 7 Evaluation de la répartition statistique de la puissance surfacique en exploitation à porteuses multiples

L'évaluation de la répartition statistique de la puissance surfacique en exploitation à porteuses multiples suit un processus itératif et commence par celle de la répartition statistique de la puissance surfacique en exploitation à porteuse unique, tel qu'indiqué ci-dessus. Cela repose sur la double hypothèse de l'identité des répartitions statistiques de puissance surfacique propres à chaque émetteur de STM et de l'indépendance statistique de leurs émissions.

Le calcul de la puissance surfacique est présenté à l'aide d'un algorithme, puisque seul l'ordinateur permet de calculer simplement des distributions. Considérons deux distributions de puissance surfacique, définies sous forme discrète et se présentant sous la forme de deux tableaux de valeurs, soit  $P_{pfd1}$  et  $P_{pfd2}$ . Il est à noter que les niveaux de puissance surfacique correspondent aux indices du tableau, tandis que la probabilité associée à un niveau donné de puissance surfacique est égale à la valeur de tableau correspondant à cet indice.

Un troisième tableau est alors défini,  $P_{pfd3}$ , avec un domaine de variation d'indice suffisamment étendu pour aller de la plus faible puissance surfacique de toutes les distributions introduites jusqu'à une valeur égale à la somme des valeurs maximales de ces mêmes distributions. Les valeurs de ce troisième tableau sont toutes fixées à zéro. L'expression suivante est alors calculée pour toutes les valeurs des indices de façon à obtenir la répartition de la puissance surfacique totale.

$$\sum_{i=0}^{I_{max}} \sum_{j=0}^{J_{max}} P_{pfd3}(pfd_i + pfd_j) + = P_{pfd1}(pfd_i) \cdot P_{pfd2}(pfd_j) \quad (37)$$

La répartition de la puissance surfacique correspondant à une exploitation à deux porteuses est donc calculée ainsi, à partir de la répartition correspondant à une exploitation à porteuse unique. De la même façon les répartitions associées aux cas d'exploitation à porteuses multiples sont tirées d'une combinaison appropriée de répartitions correspondant à un nombre plus petit de porteuses. Par exemple, il est possible de calculer une répartition pour une exploitation à cinq porteuses en combinant les répartitions obtenues pour des exploitations à 2 et à 3 porteuses, ou encore à 4 et à 1 porteuses, suivant la méthode présentée plus haut.

## 8 Détermination de la probabilité d'émission d'une STM

La loi de Poisson permet de calculer la probabilité de fonctionnement simultané de plusieurs émetteurs de STM au cours d'une unité de temps donnée, suivant la formule indiquée au § 5. Il est alors possible de déterminer la répartition statistique de la puissance surfacique, compte tenu de la probabilité effective de fonctionnement simultané de  $n$  émetteurs. La variable  $\Lambda$ , définie fréquemment comme l'intensité du trafic, détermine la forme d'une distribution de Poisson particulière.

L'intensité de trafic à prendre en compte pour la détermination du brouillage potentiel dû aux systèmes du SMS, est évaluée en fonction de la part du trafic total émis vers la station spatiale du SMS, produit à l'intérieur de la zone voisine de la station mobile à protéger. Il ne faut pas oublier par ailleurs que les conditions pratiques de mise en œuvre des systèmes ont pour effet de limiter à 0,4 la valeur maximale du paramètre  $\Lambda$  de la loi de Poisson; enfin l'incidence d'un pourcentage donné du trafic total peut être évaluée en réduisant la valeur de  $\Lambda$  dans la même proportion.

Par exemple, si l'on prévoit que l'importance relative du trafic en provenance de la zone locale située au voisinage de la station mobile, est égale au ratio de la superficie de la zone locale en question rapportée à la superficie totale de la zone de couverture d'un faisceau type de satellite sur orbite basse (0,002), il faut alors utiliser une valeur de  $\Lambda$  égale à 0,0008. Dans la pratique, il y a lieu de considérer un coefficient pouvant aller jusqu'à 50 pour tenir compte des irrégularités géographiques.

## 9 Calcul de la probabilité de dépassement

Les calculs statistiques présentés ci-dessus peuvent être combinés afin de déterminer la probabilité de dépassement d'une valeur donnée du seuil de puissance surfacique et d'un niveau donné d'intensité du trafic des STM locales. Il est conseillé de calculer pour une série de valeurs des paramètres en question l'expression indiquée dans ce paragraphe, en raison de la marge d'incertitude propre à chacun d'eux. L'expression ci-dessous doit servir à calculer la probabilité de dépassement à associer à ces paramètres.

$$P_e(\Lambda, \tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \frac{\Lambda^i}{i!} \cdot e^{-\Lambda} \cdot \left( 1 - \sum_{-\infty}^{\tau} P_{pdfn}(pdf) \right) \quad (38)$$

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 2

### Exemple d'application de la méthode de calcul

#### 1 Introduction

Cet Appendice donne un exemple d'application de la méthodologie indiquée dans la présente Recommandation. Le type particulier de STM considéré possède les caractéristiques suivantes:

- p.i.r.e. maximale: 9 dBW
- largeur de bande de modulation: < 4 kHz
- fréquence d'émission: voisine de 150 MHz
- largeur de bande d'exploitation du SMS: autour de 2 MHz.

On trouvera ci-après une description de la technique d'assignation dynamique des canaux proposée pour les systèmes du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz, puis les résultats des calculs correspondant à la méthodologie exposée plus haut.

L'exemple suppose la mise en place du dispositif suivant de discrimination entre l'émetteur de la STM et le récepteur de la station mobile pour des décalages de fréquences par rapport à la fréquence d'exploitation de ce récepteur. En ce qui concerne les émissions de la STM dont les décalages de fréquences sont supérieurs à 12,5 kHz par rapport à la fréquence du récepteur de la station mobile, on suppose un découplage de 23 dB.

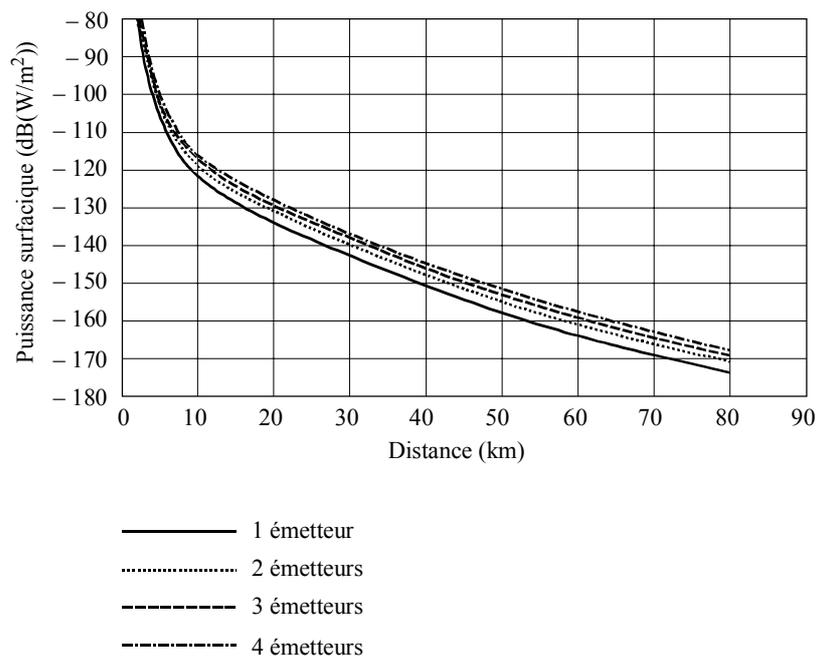
Décalage (kHz)	Découplage (dB)
0	0
2,5	0
5,0	0
7,5	2
10,0	8
12,5	23

## 2 Calcul du contour de protection

Pour un modèle donné d'affaiblissement de propagation et compte tenu d'une valeur maximale de la p.i.r.e. émise par une STM, il est possible de calculer la puissance surfacique en fonction de la distance, tel qu'indiqué au § 4 de l'Annexe 2. Une valeur de  $p = 1\%$  est utilisée dans cet exemple. La Fig. 9 représente les courbes de puissance surfacique en fonction de la distance, en cas de fonctionnement simultané de 1 à 4 émetteurs de STM. La valeur affectée à  $N_t$  (nombre maximum probable d'émetteurs fonctionnant sur une fréquence particulière) est égale à 4, tel qu'indiqué au § 5 de l'Annexe 2.

FIGURE 9

Puissance surfacique en fonction de la distance



D'après la Fig. 9, un niveau de protection de  $-140 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  serait dépassé en présence de:

- un émetteur éloigné de 27 km
- deux émetteurs éloignés de 30 km
- trois émetteurs éloignés de 32 km
- quatre émetteurs éloignés de 34 km.

Pour un seuil de protection fixé à  $-140 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , le contour de coordination devrait donc être défini par un rayon de 34 km.

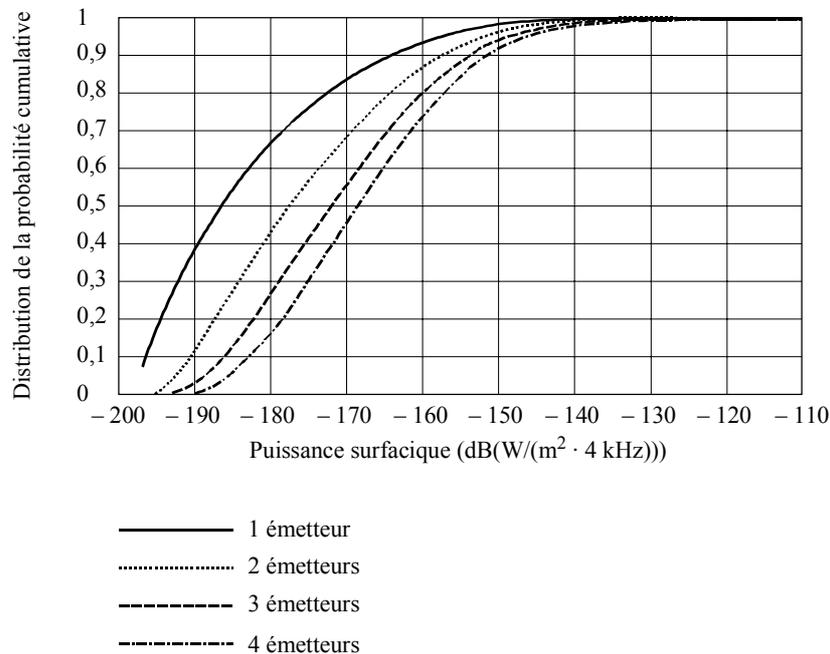
Lorsqu'un dépassement du niveau de protection est possible, il faut alors déterminer la probabilité d'un tel dépassement. On procède à cet effet à l'analyse probabiliste décrite aux § 6 à 9 de l'Annexe 2.

### 3 Distributions de puissance surfacique

La Fig. 10 correspondant à une exploitation à 1, 2, 3 et 4 porteuses donne la répartition statistique de la puissance surfacique, en supposant une p.i.r.e. de 9 dBW émise par la STM. La répartition a été calculée à l'intérieur d'un contour de coordination de 80 km de rayon, c'est-à-dire la valeur adoptée pour un niveau de protection de  $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ . Les courbes présentées correspondent à des fonctions de distribution cumulative. La valeur de puissance surfacique la plus faible de la fonction de distribution cumulative est de l'ordre de  $-197 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ . Cette valeur est une combinaison de la puissance surfacique de  $-174 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  déduite du mode de propagation et du découplage de fréquences de 23 dB.

FIGURE 10

Distributions de la probabilité cumulative de la puissance surfacique des 1, 2, 3 et 4 émetteurs de STM



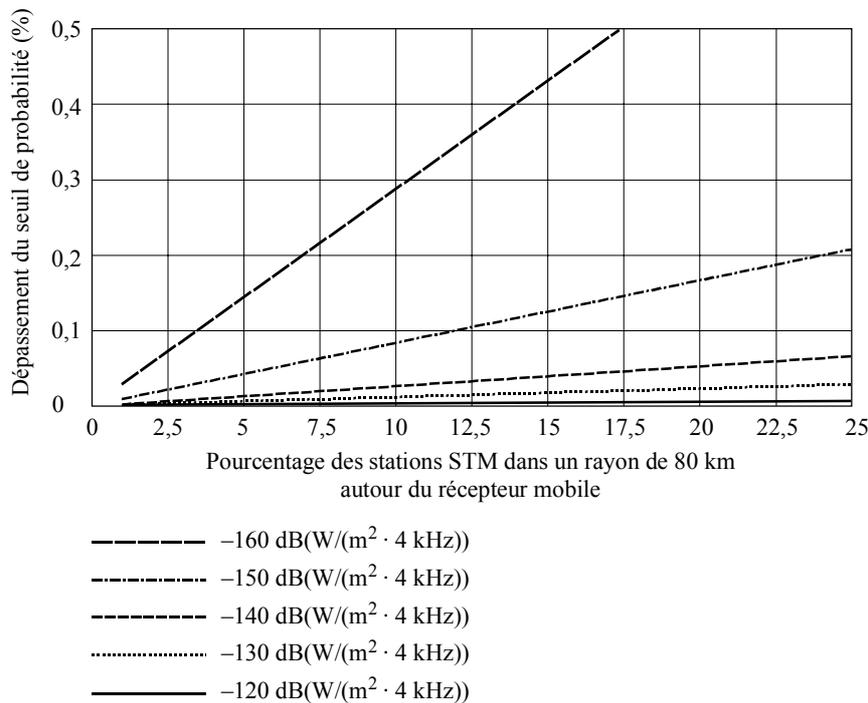
1039-10

Il est possible de calculer la probabilité de non-dépassement d'un niveau de protection défini en termes de puissance surfacique, en présence de  $n$  émetteurs actifs, en déterminant la valeur de la fonction de distribution cumulative, pour ce niveau de puissance surfacique et pour  $n$  porteuses; la probabilité de dépassement du seuil est égale à 1 moins cette valeur. Cette probabilité de brouillage doit être pondérée par la probabilité d'activité de  $n$  émetteurs, tel qu'indiqué au paragraphe suivant.

## 4 Probabilité de brouillage

La probabilité effective de brouillage d'un récepteur particulier dépend de la part totale du trafic du SMS observé dans la zone située au voisinage du récepteur. La Fig. 11 indique quelle fraction du trafic total doit provenir de la zone située au voisinage du récepteur mobile pour qu'une probabilité donnée de brouillage soit atteinte. Par exemple, si le niveau de protection est fixé à une puissance surfacique de  $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , 90% de l'effectif total de STM devrait se trouver à moins de 80 km du récepteur pour que la probabilité de brouillage dépasse 1%.

FIGURE 11  
**Probabilité de dépassement du seuil en fonction du pourcentage  
 des utilisateurs de stations STM présents dans un rayon  
 de 80 km autour du récepteur mobile**



1039-11

Ces résultats indiquent également que dans un système SMS fonctionnant avec des altitudes orbitales de l'ordre de 700 à 900 km, le diamètre de la zone de service d'un seul satellite sera d'environ 5 000 km. La zone déterminée par un rayon de 80 km dont il est question dans notre exemple est de  $(80 \times 2/5\,000)^2 = 0,1\%$  de la zone de service du satellite. Si les STM sont réparties uniformément dans la zone de service, 0,1% des STM devrait se trouver dans un rayon de 80 km autour du récepteur mobile et, d'après la Fig. 11, un critère de brouillage de  $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  ne devrait être dépassé que pendant 0,0001% du temps. Si les STM étaient répartis de façon que la zone de 80 km autour du récepteur du mobile contienne arbitrairement 20 fois le pourcentage de STM réparties uniformément, le critère de  $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  ne serait encore dépassé que pendant 0,0022% du temps. La probabilité de dépassement d'un critère de  $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  est donc faible, même avec des hypothèses très prudentes sur les répartitions des STM.

## **Modélisation statistique du partage de fréquences entre des stations du service mobile et des stations terriennes du SMS utilisant des orbites non OSG avec des attributions primaires (Terre vers espace) au-dessous de 1 GHz**

### **1 Introduction**

La présente Annexe décrit des méthodes de modélisation du partage du spectre entre les émetteurs des stations terriennes du SMS et les services mobiles. Les modèles statistiques sont donnés pour les brouillages pouvant être occasionnés par les émetteurs des stations terriennes du SMS aux récepteurs du service mobile et pour la disponibilité des canaux Terre vers espace quand le SMS partage des fréquences avec des systèmes du service mobile.

Les services mobiles exploités au-dessous de 1 GHz sont caractérisés généralement par des porteuses de signaux vocaux et de données à modulation analogique ou numérique et assignés sur une série de canaux régulièrement espacés. Les valeurs d'espacement des canaux sont: 6,25; 12,5 et 25 kHz. Les systèmes du SMS utilisant des fréquences en partage, émettent en général dans le sens Terre vers espace, à raison de brèves salves intermittentes (faible facteur d'utilisation). L'Annexe 2 de la présente Recommandation précise que la longueur des salves peut atteindre 500 ms et qu'une durée de 1%, par périodes de 1 à 15 min, a été suggérée. Les systèmes du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz utilisent parfois un algorithme d'assignation dynamique des canaux (décrit à l'Annexe 4 par exemple), permettant à la station spatiale d'identifier les canaux non occupés par les stations mobiles qui se partagent le spectre. Un récepteur du satellite contrôle toute la bande de fréquences partagée et détermine les segments du spectre qui sont utilisés par le système du service mobile ou pour des liaisons montantes de satellites non OSG du SMS. Le récepteur à balayage des bandes placé à bord du satellite limite considérablement les risques de brouillage de récepteurs du service mobile par les STM. Il existe toutefois plusieurs cas dans lesquels la technique d'assignation dynamique des canaux ne pourrait pas identifier un canal service mobile actif:

- le niveau de puissance du système du service mobile est inférieur au seuil de détection du récepteur à balayage du satellite;
- le trajet entre l'émetteur du service mobile et le satellite est bloqué; le niveau du signal reçu est donc trop faible pour pouvoir être détecté;
- un émetteur du service mobile commence à exploiter un canal utilisé simultanément par le SMS alors qu'il a été auparavant établi que ce canal était libre.

La méthode décrite au § 2 de cette Annexe permet de calculer la probabilité de brouillage d'un récepteur du service mobile par les émissions de la station STM dans un système du SMS unique, sans employer la technique d'assignation dynamique des canaux.

L'autre possibilité de brouillage mutuel correspond au cas dans lequel le récepteur de la station spatiale du SMS est brouillé par les émissions du service mobile. Ce type de brouillage peut être évité grâce au récepteur à balayage des bandes du SMS qui identifie les canaux Terre vers espace utilisés par les stations STM. Le § 3 de cette Annexe présente une méthode statistique pouvant être employée pour garantir un nombre suffisant de canaux libres nécessaires pour l'acheminement des émissions Terre vers espace du SMS. Toutefois le risque n'est pas exclu qu'un émetteur du service mobile commence à utiliser un canal auparavant libre pendant qu'une station STM émet sur ce même canal, ce qui peut causer du brouillage au récepteur de la station spatiale.

### **2 Modélisation statistique des brouillages causés par les STM du SMS utilisant des orbites non OSG aux stations du service mobile**

Le modèle statistique suivant détermine la probabilité de brouillage sans que la technique d'assignation dynamique des canaux soit utilisée. Cette hypothèse du cas le plus défavorable fournit une limite supérieure de la probabilité réelle de brouillage d'un réseau unique du SMS non OSG avec assignation dynamique des canaux.

Les paramètres d'entrée sont les suivants:

- a) Plan de disposition des canaux du service mobile (25, 12,5 ou 6,25 kHz)

Utilisé pour déterminer la fréquence centrale de la liaison mobile et la largeur de bande FI du récepteur comme indiqué au Tableau 2.

TABLEAU 2

Plans types de disposition des canaux du service mobile

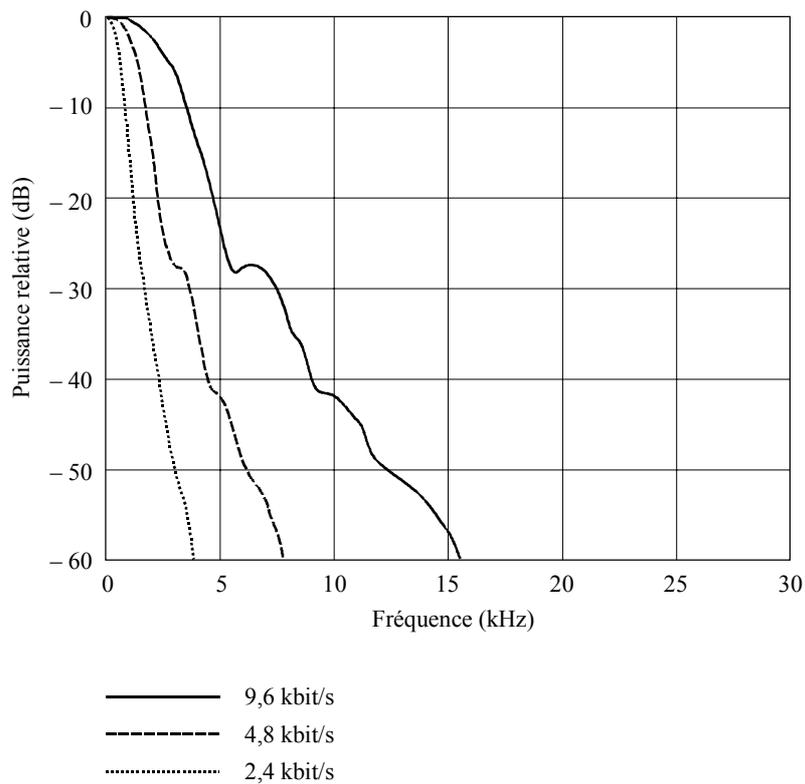
Plan de disposition des canaux (kHz)	Largeur de bande FI (kHz)
25	16
12,5	8
6,25	4

b) Débit de données sur les liaisons montantes des stations STM (9,6, 4,8 ou 2,4 kbit/s)

Utilisé pour déterminer le spectre d'émission des stations STM (Fig. 12) et la puissance d'émission (Tableau 3).

FIGURE 12

Masques des signaux émis par la station STM



*Note 1* – Ces masques sont indiqués pour une modulation MDP-4 décalée. D'autres types de modulation peuvent être utilisés. Le masque correspond à chaque format de Recommandation UIT-R utilisé.

TABLEAU 3

## Exemples de puissances émises par la station STM

Débit de données (kbit/s)	Puissance d'émission <sup>(1)</sup> (W)
9,6	7
4,8	3,5
2,4	1,75

(1) Puissance d'émission suffisante pour obtenir à la réception par le satellite la puissance nécessaire dans le canal Terre vers espace.

## c) Répartition (uniforme ou regroupée) des stations STM

Dans le cas d'une répartition uniforme, les stations STM sont réparties uniformément dans la zone terrestre située à l'intérieur du faisceau de liaison montante du satellite du SMS. Dans le cas d'une répartition regroupée, la densité de probabilité des stations STM réparties à l'intérieur du faisceau du satellite est à peu près proportionnelle à celle de la population.

## d) Sélection (aléatoire ou à interstitielle) des canaux par la station STM

Dans le cas de l'algorithme à sélection aléatoire, les canaux de liaison montante du SMS sont sélectionnés de façon aléatoire sur une plage de 2,5 kHz de la bande de fréquences à partager (1 MHz, par exemple). En ce qui concerne l'algorithme interstitiel, les canaux de liaison montante du SMS sont limités à des positions de fréquence interstitielles, entre les canaux du service mobile.

Pour un ensemble donné de paramètres d'entrée, on effectue un nombre suffisant d'essais d'une demi-seconde pour garantir la fiabilité du calcul de la probabilité de brouillage. (Le nombre d'essais est jugé suffisant si la probabilité de brouillage ne varie pas sensiblement lorsque l'on double le nombre d'essais.) Pour chaque essai d'une demi-seconde, il faut suivre les étapes suivantes:

*Etape 1:* choisir au hasard un emplacement d'émetteur du service mobile, considérée comme le centre d'une des 20 villes les plus peuplées à l'intérieur du faisceau de liaison montante du satellite du SMS. (On peut adapter le nombre de villes les plus peuplées afin d'obtenir une valeur représentative de la répartition de la population à l'intérieur du faisceau de la liaison montante du satellite du SMS. Typiquement, la zone de couverture type du faisceau du satellite est de 12 millions de km<sup>2</sup>.)

*Etape 2:* choisir au hasard l'emplacement du récepteur du service mobile en utilisant une répartition surfacique circulaire entre la position de l'émetteur (0 km) et le bord de la couverture ( $R_C$ ). (Par définition, avec une répartition surfacique circulaire, le récepteur du service mobile est situé de façon équiprobable en tout point de la zone de couverture circulaire.)

*Etape 3:* choisir au hasard une fréquence centrale de la liaison du service mobile,  $CF_{MS}$ , dans une largeur de bande de 1 MHz du plan de disposition des canaux du service mobile.

*Etape 4:* déterminer la largeur de bande FI du récepteur du service mobile,  $B_{IF}$ , à partir du plan de disposition des canaux.

*Etape 5:* calculer la distance,  $d_{MS}$ , séparant l'émetteur du service mobile du récepteur du service mobile.

*Etape 6:* choisir au hasard 128 stations STM actives toutes les demi-secondes dans le faisceau du satellite à l'aide de la répartition retenue, uniforme ou regroupée, ce qui correspond à environ 22 millions d'émissions du SMS par jour provenant de la zone de couverture du faisceau, ce qui suppose que le système non OSG du SMS fonctionne à 100% de sa capacité théorique. Il s'agit d'une autre hypothèse du cas le plus défavorable. (Le nombre de stations STM actives est choisi de telle sorte que le nombre d'émissions sur les liaisons montantes corresponde à la capacité nominale du système non OSG du SMS. Ce nombre varie en fonction de la capacité du réseau du SMS.)

*Etape 7:* calculer les distances,  $d_{STM-SM}$ , séparant chacune des stations STM du récepteur du service mobile (SM).

*Etape 8:* choisir au hasard les fréquences centrales, CF,  $CF_{STM}$ , dans une bande de 1 MHz pour chacune des stations STM en appliquant la méthode de sélection retenue, uniforme ou interstitielle.

*Etape 9:* déterminer la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station STM,  $p.i.r.e._0(f)$ , à partir du débit de données choisi.

$p.i.r.e._0(f)$ : densité spectrale de puissance normalisée des émissions de la STM. Pour une représentation mathématique du masque approprié, voir la Fig. 12.

Etape 10: calculer le rapport porteuse sur bruit plus brouillage de la façon suivante:

$$C/(N+I) = \frac{10^{PR/10} \times k T B_{IF} \times (R_C)^4}{d_{SM}^4} \quad (39)$$

$$k T B_{IF} + \int_{CF_{SM} - \frac{B_{IF}}{2}}^{CF_{SM} + \frac{B_{IF}}{2}} \sum_{STM_y} \frac{\beta p.i.r.e._0(CF_{STM} - f)}{d_{STM-SM}^4} df$$

- $PR$ : rapport de protection du récepteur du service mobile (dB)
- $k$ : constante de Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $T$ : température de bruit du récepteur du service mobile (K)
- $B_{IF}$ : largeur de bande FI du récepteur du service mobile (Hz)
- $R_C$ : distance séparant la station de base du service mobile de la limite de couverture (m)
- $d_{SM}$ : distance séparant l'émetteur du service mobile du récepteur du service mobile (m)
- $CF_{SM}$ : fréquence centrale du canal du service mobile (Hz)
- $STM$ : nombre d'émetteurs de station STM actifs
- $\beta$ :  $(h_{STM})^2 \times h_{SM}^2 \times g_{SM} \times p_{STM} \times D_{SM}$
- $h_{STM}$ : hauteur de l'antenne de la station STM (m)
- $h_{SM}$ : hauteur de l'antenne de réception de la station service mobile (m)
- $g_{SM}$ : gain numérique de l'antenne de réception du service mobile
- $p_{STM}$ : puissance de l'émetteur de la station STM (W)
- $D_{SM}$ : facteur de discrimination de polarisation de l'antenne de réception du service mobile vis-à-vis des signaux de la station STM (facteur numérique, inférieur ou égal à un)
- $p.i.r.e._0(f)$ : densité spectrale de la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station STM définie à l'Etape 9 ci-dessus (W/Hz)
- $CF_{STM}$ : fréquence centrale de chaque émetteur STM (Hz)
- $f$ : fréquence (Hz)
- $D_{STM-SM}$ : distance séparant l'émetteur de la station STM du récepteur du service mobile (m).

L'équation  $C/(N+I)$  utilise le mode de propagation exprimé par l'équation (31) avec des valeurs médianes de champ ( $p = 50\%$ ).

Etape 11: Si  $C/(N+I)$  est inférieur au seuil nominal du récepteur du service mobile, on considère qu'il n'y a pas eu brouillage.

La probabilité de brouillage est le rapport entre le nombre d'essais donnant du brouillage et le nombre total d'essais. Ce résultat est la probabilité de brouillage d'un récepteur du service mobile recevant des émissions continues.

Lorsque la charge de trafic du service mobile est faible, la probabilité de brouillage du récepteur du service mobile est réduite par le facteur Erlang correspondant au canal.

Pour modéliser le rapport  $C/(N+I)$ , avec des valeurs de  $p$  différentes de 50%, il faut modifier l'équation (39) ci-dessus et prendre en compte les variations de l'affaiblissement sur le trajet en fonction de  $p$  et de la distance (se reporter au modèle de propagation dans l'équation (31)).

### 3 Modélisation du brouillage causé par les stations du service mobile aux satellites non OSG du SMS

Les réseaux non OSG du SMS à bande étroite utilisent des techniques d'assignation dynamique des canaux pour éviter que ces derniers soient utilisés activement par des stations du service mobile. Ainsi, tant que le système d'assignation dynamique des canaux identifie correctement tous les canaux actifs du service mobile, les liaisons montantes non OSG du SMS ne commenceront à émettre que sur des canaux exempts de risques de brouillage par des stations du service mobile. Ce modèle permet de savoir s'il existe un nombre suffisant de canaux libres et inutilisés pour des opérations SMS non OSG.

La simulation détermine le nombre de stations du service mobile dans le faisceau du satellite pouvant fonctionner dans le spectre utilisé en partage tout en laissant toujours en moyenne au moins 6 canaux par satellite pour les liaisons montantes non OSG du SMS. Cette hypothèse du cas le plus défavorable définit une limite inférieure du nombre de stations du service mobile pouvant être exploitées dans le spectre utilisé en partage tout en permettant au réseau non OSG du SMS de fonctionner à 36% de sa capacité théorique. (Le choix du nombre de canaux montants par satellite permet d'exploiter chaque satellite à sa capacité nominale.)

Les paramètres d'entrée sont:

- a) plan de disposition des canaux du service mobile (25, 12,5 ou 6,25 kHz)

Utilisé pour déterminer la grille de fréquences centrales des stations du service mobile et le spectre d'émission dans le service mobile (voir la Fig. 13).

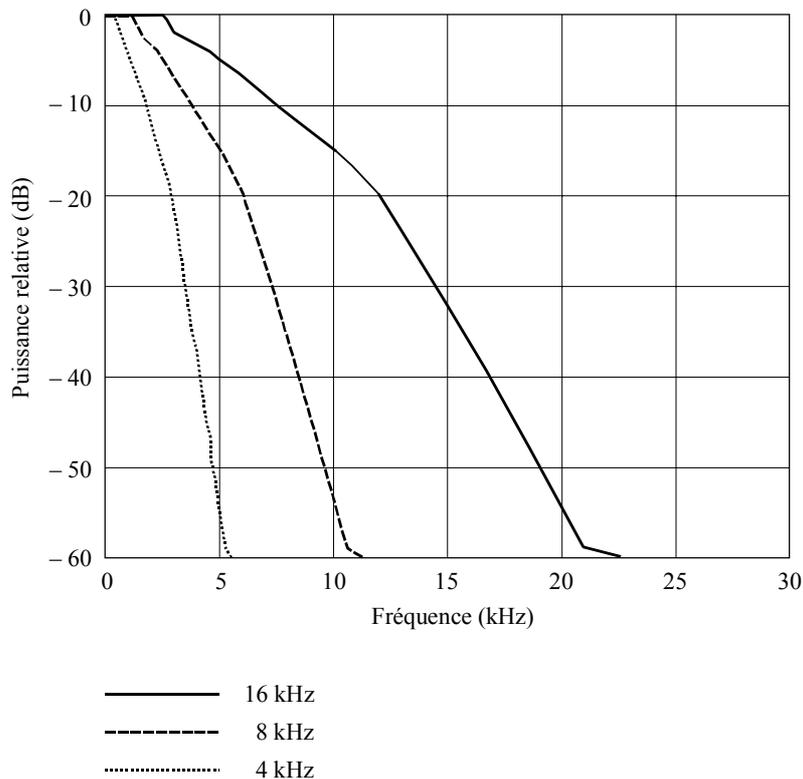
- b) débit de données sur la liaison montante de la station STM (9,6; 4,8 ou 2,4 kbit/s)

Utilisé pour déterminer la grille de fréquences centrales des liaisons montantes non OSG du SMS (voir le Tableau 4).

- c) partie du spectre utilisée en partage (1 MHz ou 5 MHz)  
d) facteur d'activité moyen des stations du service mobile (0,01; 0,003; 0,001 ou 0,0003 E).

FIGURE 13

**Masques des signaux émis par une station du service mobile**



1039-13

TABLEAU 4

**Largeurs de bande types des canaux sur liaison montante de station STM**

Débit de données (kbit/s)	Largeur de bande des canaux (kHz)
9,6	15
4,8	10
2,4	5

Pour chaque ensemble de paramètres d'entrée, il faut suivre les étapes suivantes:

*Etape 1:* fixer à 1 000 le nombre initial de stations du service mobile.

*Etape 2:* répartir les stations du service mobile de façon aléatoire dans la zone couverte par le faisceau de liaison montante du satellite.

*Etape 3:* déterminer la p.i.r.e. des émetteurs du service mobile,  $[p.i.r.e._0(f)]_{SM}$  à partir du plan de disposition des canaux du service mobile,

soit:

$$[p.i.r.e._0(f)]_{SM} = p.i.r.e._{SM} \times PSD_0(f) \quad (40)$$

$p.i.r.e._{SM}$ : puissance isotrope rayonnée équivalente d'une station du service mobile

$PSD_0(f)$ : densité spectrale de puissance normalisée des émissions du service mobile, représentation mathématique de la courbe appropriée de la Fig. 13.

*Etape 4:* déterminer la largeur de bande, BW, des canaux sur liaison montante du système à satellites non OSG du SMS en fonction du débit de données de la station STM sur la liaison montante.

*Etape 5:* pour chaque essai, procéder à une permutation temporelle de la constellation de satellites non OSG du SMS et effectuer un nombre suffisant d'essais pour vérifier que le calcul du nombre de stations du service mobile est juste. Suivre la procédure suivante:

*Sous-étape 1:* pour chaque station du service mobile, choisir au hasard une fréquence centrale d'émission,  $CF_{SM}$ , parmi les fréquences utilisées en partage (1 MHz ou 5 MHz), dans le plan de disposition des canaux du service mobile.

*Sous-étape 2:* pour chaque station du service mobile et pour chaque satellite non OSG du SMS, calculer le déplacement de fréquence dû à l'effet Doppler,  $\Delta f_{Doppler}$ , en tenant compte de la vitesse relative de l'émetteur et du récepteur. Le décalage par effet Doppler observé au niveau du récepteur est donné par:

$$\Delta f_{Doppler} = (v/c) F_0 \quad (41)$$

où:

$\Delta f_{Doppler}$ : décalage dû à l'effet Doppler (Hz)

$v$ : vitesse relative entre l'émetteur et le récepteur (m/s)

$c$ : vitesse de la lumière ( $3 \times 10^8$  m/s)

$F_0$ : fréquence d'émission (Hz).

*Sous-étape 3:* pour chaque satellite non OSG du SMS et pour chaque fréquence centrale des canaux sur liaison montante non OSG du SMS,  $CF_{CH}$ , parmi les fréquences utilisées en partage, calculer le rapport brouillage/bruit comme suit:

$$(I/N)_{CH} = \frac{\epsilon}{BW} \cdot \int_{CF_{CH} - \frac{BW}{2}}^{CF_{CH} + \frac{BW}{2}} \sum_{SM} \left( p.i.r.e._0(CF_{SM} + \Delta f_{Doppler} - f) \right)_{SM} df \quad (42)$$

où:

$$\epsilon = (G/T)_{SAT} / [(Alt_{SAT} \times F \times (4\pi/c)^2 \times k BW] D_{SAT} \quad (43)$$

où:

$(G/T)_{SAT}$ : gain dans l'axe de l'antenne du satellite du SMS (valeur numérique) divisée par la température de bruit du système de réception ( $K^{-1}$ )

$Alt_{SAT}$ : altitude du satellite (m)

$F$ : fréquence centrale des canaux (Hz)

$c$ : vitesse de la lumière ( $3 \times 10^8$  m/s)

$k$ : constante de Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

$BW$ : largeur de bande du récepteur satellite du SMS (Hz)

$D_{SAT}$ : facteur de découplage de polarisation de l'antenne du satellite du SMS par rapport aux signaux du service mobile (facteur numérique, inférieur ou égal à un).

L'équation  $I/N$  utilise le modèle de propagation dans l'espace.

*Sous-étape 4:* pour chaque satellite du SMS non OSG, calculer le nombre de canaux libres, soit le nombre de canaux caractérisés par  $I/N < 10$  dB.

*Étape 6:* si le nombre minimum calculé des canaux libres est supérieur à 6, le nombre de stations du service mobile est augmenté de 1 000 et la procédure ci-dessus est répétée à partir de l'Étape 2.

*Étape 7:* le processus est terminé lorsque l'on a déterminé le nombre maximum de stations du service mobile permettant toujours 6 canaux libres.

## APPENDICE 1

### À L'ANNEXE 3

## Exemples d'application des modèles statistiques

### 1 Introduction

Le présent Appendice donne des exemples d'application des deux modèles statistiques figurant à l'Annexe 3 de la présente Recommandation.

Le réseau non OSG du SMS pris comme exemple présente les caractéristiques suivantes: 48 satellites dans 8 plans orbitaux inclinés à  $50^\circ$  par rapport à l'équateur; chaque plan contient six satellites espacés de manière égale dans des orbites circulaires à une altitude de 950 km; multiplexage à bande étroite par répartition en fréquence pour les transmissions Terre vers espace; fonctionnement en mode enregistrement et retransmission; transmissions dans des trames de 500 ms contenant des paquets numériques; utilisation à bord du satellite d'un récepteur à balayage des bandes pour mettre en œuvre un système DCAAS en fonction de l'activité observée permettant d'assigner des canaux non utilisés à des stations terriennes pour les transmissions sur la liaison montante; fonctionnement à 149 MHz; hauteur de l'antenne de station STM de 1,5 m, avec polarisation verticale et gain de 0 dBi; débits de données sur liaison montante de 2,4, 4,8 et 9,6 kbit/s. On suppose qu'un système du SMS fonctionne à sa capacité maximale sur une zone géographique spécifique (par exemple, 22 millions de transmissions par paquet Terre vers espace par jour sur la zone des Etats contigus des Etats-Unis d'Amérique).

Les SMT prises comme modèles présentent les caractéristiques suivantes: système analogique à modulation de fréquence (ou système MDF-2 à modulation numérique); antenne à polarisation verticale présentant un gain de 0 dBi en direction du satellite; puissance minimale supposée du signal reçu  $-140$  dBW; largeurs de bande des canaux de 6,25; 12,5 et 25 kHz avec faible charge unitaire de trafic en Erlang. Les caractéristiques techniques utilisées dans ce modèle sont celles que présentent certains systèmes de station SMT fonctionnant dans les bandes au-dessous de 1 GHz. En ce qui concerne les analyses de partage de fréquences, on prend comme modèles les 20 villes les plus peuplées des Etats-Unis d'Amérique.

### 2 Risques de brouillage des SMT par les stations terriennes non OSG du SMS

La distance séparant la SMT de sa station de base est modélisée par une répartition surfacique circulaire de 0 à 20 km, 20 km correspondant au seuil de puissance reçue. Le rapport de protection utilisé pour le récepteur de la station SMT est fixé à 10,7 dB et sa température de bruit est de 3 890 K. La hauteur de l'antenne du récepteur de la station SMT est de 3,22 m. L'antenne de réception de la station SMT et l'antenne d'émission de la station STM ont la même polarisation; le facteur de découplage de polarisation est égal à 1,0. Les répartitions uniforme et regroupée des stations terriennes du SMS sont toutes les deux prises en compte. Cent vingt huit stations STM actives sont utilisées dans la simulation. On suppose que la bande de fréquences utilisée en partage est de 1 MHz, et on utilise à la fois des algorithmes de sélection des canaux aléatoires et des algorithmes interstitiels sur la liaison montante.

Compte tenu des valeurs de paramètre choisies, l'équation de  $C/(N + I)$  devient:

$$C/(N + I) = \frac{10^{3,204}}{d_{SM}^4} \left( 10^{-15,07} + \int_{CF_{SM} - \frac{B_{IF}}{2}}^{CF_{SM} + \frac{B_{IF}}{2}} \sum_{STM} \frac{10^{2,815} \times p.i.r.e.0(CF_{STM} - f)}{d_{STM-SM}^4} df \right) \quad (44)$$

Le Tableau 5 donne les valeurs de probabilité de limite supérieure de brouillage calculées par le programme de simulation pour l'ensemble des paramètres considérés. (Les probabilités calculées à partir du modèle sont les probabilités de brouillage avec le système DCAAS non actif. Il s'agit donc des valeurs supérieures de probabilité. Les probabilités réelles de brouillage avec utilisation de la technique DCAAS seraient celles du Tableau 5 multipliées par la probabilité de non-détection d'un canal actif ( $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  ou inférieur, par exemple), par le système DCAAS.) Les probabilités brutes sont parfois difficiles à interpréter; elles ont donc été traduites en durées moyennes entre événements de brouillage, comme le montre le Tableau 6. On obtient la durée moyenne entre événements de brouillage (Tableau 6) en multipliant l'inverse de la probabilité, donnée au Tableau 5 par 0,5 s, durée des émissions de station STM utilisée dans le modèle. Les résultats des Tableaux 5 et 6 sont valables seulement quand la SMT fonctionne de manière continue. Le Tableau 7 donne la durée moyenne entre événements de brouillage pour un usager mobile terrestre type avec un trafic de 0,01 E.

TABLEAU 5

**Probabilité de brouillage**

Disposition des canaux pour les stations SMT (kHz)	Débit de données pour les liaisons montantes des stations STM (kbit/s)	Répartition uniforme		Répartition regroupée	
		Sélection aléatoire	Sélection interstitielle	Sélection aléatoire	Sélection interstitielle
25	9,6	0,00038	0,000055	0,0013	0,00020
	4,8	0,00025	0,0000058	0,00088	0,000022
	2,4	0,00016	0,00000093	0,00052	0,0000034
12,5	9,6	0,00023	0,00019	0,00075	0,00064
	4,8	0,00012	0,000020	0,00039	0,000069
	2,4	0,000067	0,0000024	0,00023	0,0000084
6,25	9,6	0,00014	0,00015	0,00049	0,00051
	4,8	0,000094	0,00011	0,00032	0,00037
	2,4	0,000066	0,000074	0,00023	0,00026

TABLEAU 6

**Durée moyenne la plus défavorable (la plus courte) entre événements de brouillage**

Disposition des canaux pour les stations SMT (kHz)	Débit de données pour les liaisons montantes des stations STM (kbit/s)	Répartition uniforme		Répartition regroupée	
		Sélection aléatoire (min)	Sélection interstitielle	Sélection aléatoire (min)	Sélection interstitielle
25	9,6	22	3 h	7	42 min
	4,8	34	24 h	10	7 h
	2,4	50	150 h	16	41 h
12,5	9,6	36	44 min	11	13 min
	4,8	70	7 h	22	120 min
	2,4	130	60 h	36	17 h
6,25	9,6	60	55 min	17	17 min
	4,8	90	75 min	26	23 min
	2,4	130	120 min	36	32 min

TABLEAU 7

**Durée moyenne entre événements de brouillage pour un utilisateur type activant son émetteur par bouton poussoir (0,001 E)**

Disposition des canaux pour les stations SMT (kHz)	Débit de données pour les liaisons montantes des stations STM (kbit/s)	Répartition uniforme		Répartition regroupée	
		Sélection aléatoire (h)	Sélection interstitielle	Sélection aléatoire (h)	Sélection interstitielle
25	9,6	37	10 jours	11	69 h
	4,8	56	100 jours	16	26 jours
	2,4	83	21 mois	27	68 jours
12,5	9,6	60	73 h	18	22 h
	4,8	120	29 jours	36	200 h
	2,4	210	8 mois	60	71 jours
6,25	9,6	100	92 h	28	28 h
	4,8	150	130 h	43	38 h
	2,4	210	190 h	60	53 h

Pour d'autres dispositions des canaux des stations STM, les débits de données pour les liaisons montantes des stations STM ou des paramètres différents de ceux utilisés dans cet exemple, on pourra procéder par une interpolation pour déterminer les valeurs approximatives de probabilité de brouillage et la durée moyenne entre les événements de brouillage.

### 3 Risques de brouillage des satellites non OSG du SMS par les SMT

Avec le modèle du § 3 de l'Annexe 3 de la présente Recommandation, on peut par simulation déterminer le nombre de stations mobiles terrestres à l'intérieur du faisceau de liaison montante du satellite du SMS pouvant fonctionner aux fréquences utilisées en partage tout en laissant en moyenne au moins 6 canaux par satellite pour les liaisons montantes du SMS. L'hypothèse du nombre moyen de canaux par satellite est le cas le plus défavorable puisque le nombre moyen de canaux sur l'ensemble des satellites visibles est supérieur au nombre moyen de canaux par satellite; cette hypothèse du cas le plus défavorable définit donc une limite inférieure du nombre de SMT pouvant fonctionner aux fréquences utilisées en partage. L'empreinte du satellite correspond à peu près à la zone des Etats contigus des Etats-Unis d'Amérique, soit 12 millions de km<sup>2</sup>. Les valeurs des paramètres techniques supplémentaires nécessaires pour cet exemple sont les suivantes:

$$G/T \text{ de satellite du SMS} = -30,1 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$$

Gain d'antenne de la station SMT = 6 dBi dans le plan horizontal et 0 dBi en direction du satellite.

On suppose que l'antenne du récepteur satellite du SMS ne présente pas de découplage de polarisation par rapport aux signaux de la station SMT; le facteur de discrimination de polarisation est donc défini comme étant égal à 1,0.

Compte tenu des valeurs de paramètre choisies, l'équation de  $I/N$  devient:

$$(I/N)_{CH} = \frac{10^{6,25}}{BW} \cdot \int_{CF_{CH} - \frac{BW}{2}}^{CF_{CH} + \frac{BW}{2}} \sum_{SM} \left( p.i.r.e._0(CF_{SM} + \Delta f_{Doppler} - f) \right)_{SM} df \quad (45)$$

Quatre facteurs d'activité moyenne de station SMT ont été pris en compte: 0,01, 0,003, 0,001 et 0,0003 E (Erlang est une unité de mesure d'intensité du trafic. Dans ce contexte, c'est une mesure de l'activité de la station SMT). Ils correspondent respectivement à des moyennes d'émissions de stations SMT de 432, 130, 43 et 13 min par mois. Si l'on suppose un facteur d'activité vocale de 0,4, la durée de conversation équivalente sera respectivement de 1 080, 325, 108 et 33 min par mois. Il convient de noter que ces moyennes sont calculées pour la totalité des stations SMT et sur le mois entier.

Le Tableau 8 donne les limites inférieures du nombre de stations SMT situées sur les Etats contigus des Etats-Unis d'Amérique, utilisant 1 MHz du spectre en partage; ces limites sont calculées par le programme de simulation pour l'ensemble de paramètres considérés.

TABLEAU 8

Limites inférieures du nombre de stations mobiles terrestres utilisant 1 MHz de spectre en partage

Disposition des canaux pour les stations SMT (kHz)	Débit de données sur liaison montante STM (kbit/s)	Facteur d'activité moyen de la station SMT			
		0,01 E	0,003 E	0,001 E	0,0003 E
25	9,6	12 000	38 000	120 000	380 000
	4,8	17 000	55 000	170 000	550 000
	2,4	23 000	77 000	230 000	770 000
12,5	9,6	16 000	52 000	160 000	520 000
	4,8	24 000	80 000	240 000	800 000
	2,4	35 000	120 000	350 000	1,2 millions
6,25	9,6	18 000	60 000	180 000	600 000
	4,8	35 000	120 000	350 000	1,2 million
	2,4	58 000	190 000	580 000	1,9 million

Le Tableau 9 donne les limites inférieures pour 5 MHz de spectre utilisé en partage. Ces limites sont largement 5 fois supérieures à celles calculées pour 1 MHz de spectre partagé.

TABLEAU 9

**Limites inférieures du nombre de SMT utilisant 5 MHz de spectre en partage**

Disposition des canaux pour les stations SMT (kHz)	Débit de données sur liaison montante STM (kbit/s)	Facteur d'activité moyen de la station SMT			
		0,01 E	0,003 E	0,001 E	0,0003 E
25	9,6	110 000	370 000	1,1 millions	3,7 millions
	4,8	125 000	420 000	1,3 millions	4,2 millions
	2,4	170 000	570 000	1,7 millions	5,7 millions
12,5	9,6	115 000	380 000	1,2 millions	3,8 millions
	4,8	190 000	630 000	1,9 millions	6,3 millions
	2,4	255 000	850 000	2,6 millions	8,5 millions
6,25	9,6	120 000	400 000	1,2 millions	4,0 millions
	4,8	230 000	770 000	2,3 millions	7,7 millions
	2,4	450 000	1,5 millions	4,5 millions	15 millions

En ce qui concerne les valeurs de paramètre qui n'apparaissent pas dans les Tableaux, une interpolation permettra de déterminer les valeurs approximatives des limites inférieures.

## ANNEXE 4

### **Utilisation de la technique d'assignation dynamique des canaux pour éviter les brouillages**

#### **1 Introduction**

La présente Annexe décrit une technique qu'utilisent les réseaux non OSG du SMS pour repérer dans les systèmes du service de Terre fonctionnant dans la même bande de fréquences, des canaux libres qui seront utilisés à des fins de transmission sur liaisons montantes par des STM de système SMS. Bien que les caractéristiques du système DCAAS en fonction de l'activité observée exposées dans la présente Annexe soient celles du réseau LEOTELCOM-1, d'autres réseaux du SMS envisagent d'utiliser des systèmes à balayage de bande similaires, fonctionnant généralement selon les mêmes principes, mais différant parfois dans la mise en œuvre.

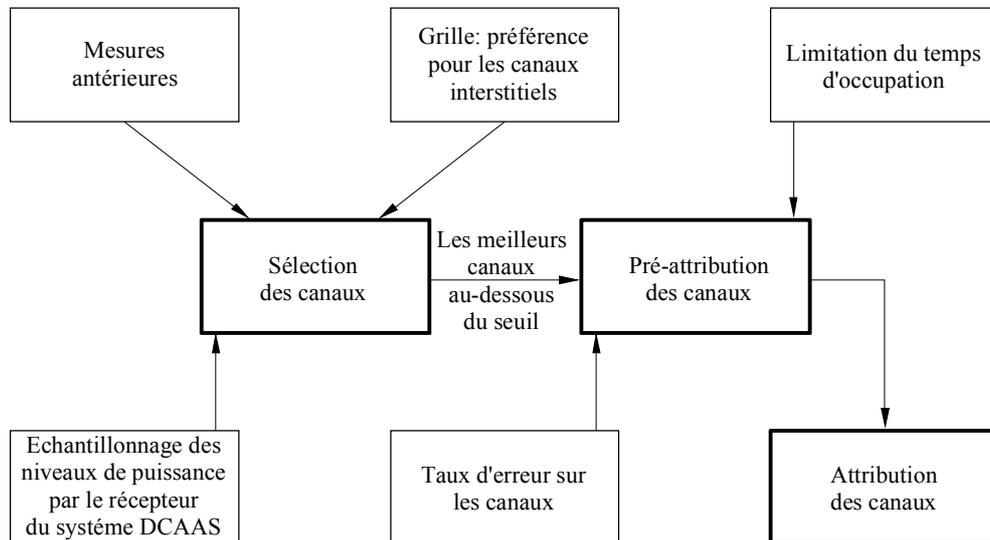
L'efficacité de cette technique, en tant que moyen fondamental de prévention des brouillages que pourraient subir les services de Terre, bénéficiant d'attributions primaires dans la même bande, est établie. Le nom utilisé pour décrire cette technique est DCAAS et elle a été mise en œuvre avec succès dans le réseau à satellite du SMS LEOTELCOM-1. Des informations relatives aux essais figurent en fin d'annexe.

#### **2 Fonctionnement du système DCAAS**

Tous les satellites de la constellation disposent d'un système DCAAS, constitué d'un récepteur et d'une unité de traitement (voir la Fig. 14). Ce système balaye la bande de liaison montante de la station STM (émissions de Terre, intervalles de 2,5 kHz), identifie les canaux qui ne sont pas utilisés et les assigne aux stations STM pour utilisation sur liaisons montantes. Il s'agit d'éviter que les émissions des stations STM ne causent du brouillage aux récepteurs de Terre; en d'autres termes, de faire en sorte que les stations STM n'émettent pas sur des canaux mobiles actifs.

La Fig. 14 est une représentation graphique des différents facteurs affectant les processus de sélection et de mise en œuvre des canaux exécutés par le système DCAAS.

FIGURE 14  
Fonctionnement du système DCAAS



1039-14

## 2.1 Sélection des canaux

L'algorithme identifie les canaux préférés disponibles à chaque balayage en fonction de trois critères:

- *Echantillonnage de puissance* – Le premier critère de sélection est établi à partir de l'échantillonnage de puissance. Un récepteur de satellite, fonctionnant en mode DCAAS, balaye tous les canaux dans la plage de fonctionnement sélectionnée. Les canaux sur lesquels le niveau de puissance est inférieur à un seuil spécifique sont considérés comme étant potentiellement disponibles. La détermination du seuil de l'échantillon de puissance se fait par décision franche; et ce critère est donc le critère de sélection dominant.
- *Grille préférée* – Le deuxième critère de sélection des canaux est celui de la grille préférée. Il existe dans le monde un grand nombre de systèmes hertziens (dont des systèmes cellulaires et de radiomessagerie) auxquels on attribue des canaux selon un plan ou une grille de disposition des canaux de 20 kHz, 25 kHz, etc.). Le système à satellites est conçu pour donner la préférence à des canaux espacés à une valeur intermédiaire, comprise entre les valeurs normalisées du service de Terre. Dans l'algorithme de sélection des canaux, le poids de ce facteur de préférence est supérieur à celui du facteur de qualité, mais inférieur à celui du facteur de décision franche. Le système DCAAS recherche tous les canaux potentiels sur les liaisons montantes, mais les canaux situés dans des grilles connues du service de Terre sont les derniers explorés.
- *Facteur de qualité* – Le troisième critère de sélection des canaux, le facteur de qualité, est fondé sur les mesures d'échantillons de puissance, prises sur les balayages précédents. Il est établi par un algorithme à partir des mesures des niveaux de puissance du canal, en cours et précédentes.

Une fois que tous les facteurs ont été pris en compte, le système choisit les canaux préférés parmi ceux qui sont disponibles et transmet l'information au module de gestion de la préattribution.

Il est important de noter que:

- un système SMS ne peut émettre que s'il reçoit du satellite, sur la liaison descendante, un signal lui indiquant quels sont les canaux de liaison montante qui peuvent être utilisés,
- s'il ne détecte aucun canal inactif à l'instant considéré, le système DCAAS ne permettra pas aux stations STM d'émettre.

Après avoir recherché les canaux inactifs, le processeur du système DCAAS prévoit quels sont, parmi les canaux disponibles, ceux qui le resteront le plus vraisemblablement dans l'immédiat.

## 2.2 Préattribution des canaux

Lorsque le processus de sélection des canaux a déterminé les fréquences des canaux préférés, ces canaux sont préattribués spécifiquement pour accès aléatoire (acquisition/communication) ou pour réservation (messagerie). Les canaux restants sont affectés à une base de réserve, utilisée en cas d'expiration du temporisateur limitant le temps d'occupation du canal pour les récepteurs en accès aléatoire ou en cas de dépassement des seuils de mesure de la qualité de fonctionnement (taux d'erreur).

Quatre conditions déterminent la commutation des canaux pour les récepteurs de satellite:

- dépassement du seuil de taux d'erreur d'un récepteur en accès aléatoire;
- dépassement du seuil de taux d'erreur d'un récepteur de réserve;
- le processus de sélection des canaux utilisant de nouvelles données de balayage DCAAS indique un dépassement de seuil de facteur de qualité sur le canal actuellement attribué;
- expiration du temporisateur limitant le temps d'occupation du canal, s'il est activé.

Lorsque peu de stations STM émettent en direction du satellite, le délai de décision de passer à une autre fréquence de liaison montante (prise par le satellite) dépendra de la corrélation entre le début d'un brouillage détecté au niveau du satellite et le balayage du système DCAAS. Le DCAAS exploité par un opérateur présente un temps de répétition d'environ cinq secondes.

Lorsqu'un grand nombre de stations STM émettent en direction du satellite, le délai de décision de changement de fréquence de liaison montante est raccourci dès que le seuil de taux d'erreur est dépassé sur le canal initial.

Comme on peut le voir, le système DCAAS utilise les données du balayage en cours pour identifier les canaux apparemment inactifs, puis combine ces données avec celles des balayages antérieurs pour déterminer les probabilités d'inactivité des canaux.

## 2.3 Longueur du message

Dans une constellation avec agilité de fréquence, l'abonné peut être à l'origine de deux types de transmissions, à savoir une brève transmission correspondant à une demande d'accès à un canal à accès aléatoire ou encore une transmission de message plus longue sur un canal spécialisé. Chaque transmission de message est spécifiquement gérée en fréquence et en durée. Dans un système DCAAS, la fréquence du canal à accès aléatoire change fréquemment, le verrouillage s'effectuant toujours sur le canal le moins occupé par les utilisateurs du système de Terre.

Dès qu'il est reconnu par le système, l'abonné peut soit transmettre un seul paquet de communication de 15 octets, soit demander à transmettre un message plus long.

L'abonné souhaitant une transmission plus longue doit demander à accéder à un canal de messagerie, en précisant la longueur totale du message à transmettre. La demande elle-même est un paquet de 15 octets, de 50 ms de durée. La longueur maximale du message, c'est-à-dire le nombre maximal d'octets pouvant être transmis par l'utilisateur en une seule séquence, est alors communiquée à l'abonné avec une fréquence d'émission spécifique obtenue du système DCAAS. Cette valeur maximale autorisée de longueur de message servira à gérer la longueur maximale de la transmission du message de l'abonné qui devra être inférieure à 450 ms-500 ms, sur une seule fréquence d'émission. Comme la prise de contact initiale abonné/satellite a lieu sur un canal utilisé comme canal de commande à accès aléatoire, le message de l'abonné sera transmis sur une fréquence différente.

Lorsque la valeur maximale admissible de longueur de message est inférieure à la longueur du message que l'abonné souhaite transmettre, ce message est transmis en plusieurs séquences. La fréquence d'émission utilisée pour chaque séquence est gérée par le système DCAAS à bord du satellite (utilisation de fréquences différentes). Ainsi, la durée maximale d'occupation d'un canal (d'une même fréquence) par l'abonné est contrôlée.

# 3 DCAAS et probabilités

## 3.1 Probabilité d'assignation d'un canal actif

Dans certains cas, le récepteur DCAAS du satellite «ne voit pas» les émetteurs mobiles du service de Terre en raison d'obstructions (bâtiment, etc.) sur le trajet Terre vers espace: le récepteur DCAAS ne détectant pas un émetteur mobile peut donc assigner par erreur un canal actif à un autre émetteur de la station STM: la probabilité de ce type d'erreur est fonction du lieu et de la topographie locale.

D'autres facteurs difficiles à quantifier, affectant la probabilité d'assignation d'un canal actif par le système DCAAS, sont énumérés ci-après:

- si la bande de fréquences est utilisée de manière intensive par des services mobiles de Terre pratiquant la réutilisation de fréquences, il est fort probable qu'un deuxième émetteur mobile visible par le satellite utilise le même canal, empêchant ainsi l'assignation de ce canal par le système DCAAS;
- si le trajet Terre vers espace entre un émetteur mobile et un satellite est bloqué, il est assez probable que le trajet de Terre entre la station STM et le récepteur mobile soit également bloqué. On peut s'attendre à ce que la probabilité de blocage du trajet de Terre soit élevée dans les zones où la probabilité de blocage sur le trajet Terre vers espace est la plus élevée;
- l'algorithme prédictif du processeur DCAAS évaluera la probabilité de non-brouillage des canaux disponibles jusqu'à la fin du balayage suivant. L'algorithme prend en compte les données des balayages récents, de telle sorte qu'un canal utilisé par un émetteur mobile du service de Terre qui disparaît subitement derrière un obstacle ne sera pas assigné à une autre utilisation lorsque d'autres canaux sont disponibles.

Compte tenu de tous ces facteurs, il serait extrêmement difficile d'obtenir une probabilité unique d'assignation d'un canal actif par le système DCAAS, cette probabilité variant d'une zone géographique à l'autre. Cependant, les calculs de brouillage dans lesquels cette probabilité serait utilisée ne nécessitent qu'une évaluation approximative. On considère donc que la probabilité d'erreur du système DCAAS est très faible.

### 3.2 Probabilité d'émission d'une station STM à proximité d'un récepteur mobile

Lorsque le système DCAAS ne détecte pas l'émetteur mobile du service de Terre utilisant le canal qu'il assigne à la station STM, un brouillage peut être causé au récepteur mobile, selon divers facteurs (distance entre la station STM et le récepteur mobile, nombre de stations STM, probabilité qu'une station STM émette en même temps que le récepteur mobile reçoit). Cette question est traitée dans les Annexes 1, 2 et 3.

## 4 Possibilité d'éviter les brouillages grâce à la technique DCAAS – Résumé

La CAMR-92 a attribué les bandes de fréquences 137-138 MHz (liaisons descendantes) et 148-149,9 MHz (liaisons montantes) au SMS. Ces bandes sont également partagées avec les services de Terre. La technique DCAAS permet aux STM (par satellite) d'émettre en évitant de causer du brouillage à d'autres usagers dans la bande 148-149,9 MHz. Pour cela, on utilise également les liaisons descendantes.

Plus précisément, la bande 148-149,9 MHz est fortement utilisée par les systèmes du service de Terre. Pour qu'il fonctionne de manière efficace, le système du SMS doit balayer et identifier les canaux qui fonctionnent dans cette bande et qui ne sont pas utilisés activement pendant le balayage, qui dure quelques secondes. Un système à satellite du SMS AMRF ne peut fonctionner dans la bande 148-149,9 MHz sans utiliser une technique de type DCAAS. Toute tentative de réception sur un canal utilisé activement par un émetteur de Terre se traduirait par du brouillage causé au satellite et par une perte totale des données du SMS.

### 4.1 Aspects de la méthode de partage

Le système DCAAS identifie les canaux utilisés activement par les services de Terre et les évite. La méthode de partage articulée sur cette technique comprend cinq aspects:

- le système mis en œuvre par un opérateur balaye la bande de fréquences utilisée (recherche des canaux inactifs) toutes les 5 s. Le système DCAAS ne permettra pas aux stations STM d'émettre s'il n'y a pas de canaux inactifs disponibles. Il évitera d'assigner des canaux mobiles actifs (p.i.r.e. en direction du satellite > 0,1 W dans 7,5 kHz) à des stations STM utilisées pour des émissions sur les liaisons montantes;
- au cas où le système du DCAAS assignerait par erreur un canal actif, il serait très peu probable qu'une station STM en émission soit assez proche d'une unité mobile en réception pour être détectée;
- si le système DCAAS choisit un canal sur lequel des brouillages se produisent, il en sélectionne rapidement un autre;
- la brièveté des salves d'émission des stations STM réduit encore les effets de brouillage;
- même en présence de brouillage, la structure d'émission des messages de la station STM est telle que ce brouillage ne persistera pas ou ne se reproduira pas.

La présente Annexe a décrit la technique DCAAS. Les principes de base de cette technique peuvent être mis en œuvre de différentes façons. Par exemple, le système du SMS LEO-L utilise une technique d'assignation dynamique numérique des canaux fondée sur un traitement du satellite en mode transformée de Fourier rapide (TFR) pour visualiser simultanément la bande sur la liaison montante entière et identifier les canaux sur la liaison montante libres pour assignation aux

terminaux d'abonné du SMS. Le récepteur utilisant le balayage de bande TFR permet aux canaux de liaison montante du SMS d'être assignés de nouveau (toutes les 0,5 s environ) après estimation de la disponibilité des canaux. La réponse attendue est fonction de la fréquence et de la largeur de bande. Par exemple, le récepteur à balayage de bande du système LEO-L peut détecter un signal d'une durée de 0,5 s, à 460 MHz, d'une largeur de bande de 2,5 kHz et d'une puissance d'émission de 3,5 mW n'importe où dans l'empreinte du satellite, avec une probabilité de 99,9%. Pour un signal de 16 kHz, la sensibilité est de 22 mW. A 149 MHz, les valeurs de sensibilité de puissance d'émission sont respectivement de 0,4 mW et de 2,3 mW, pour des signaux de 2,5 et 16 kHz. Ces sensibilités permettent aux liaisons montantes non OSG du SMS d'éviter les canaux qui sont utilisés par les systèmes des stations SMT; le partage de bande entre le système non OSG du SMS et la station SMT au-dessous de 1 GHz n'est possible que dans les limites de l'encombrement.

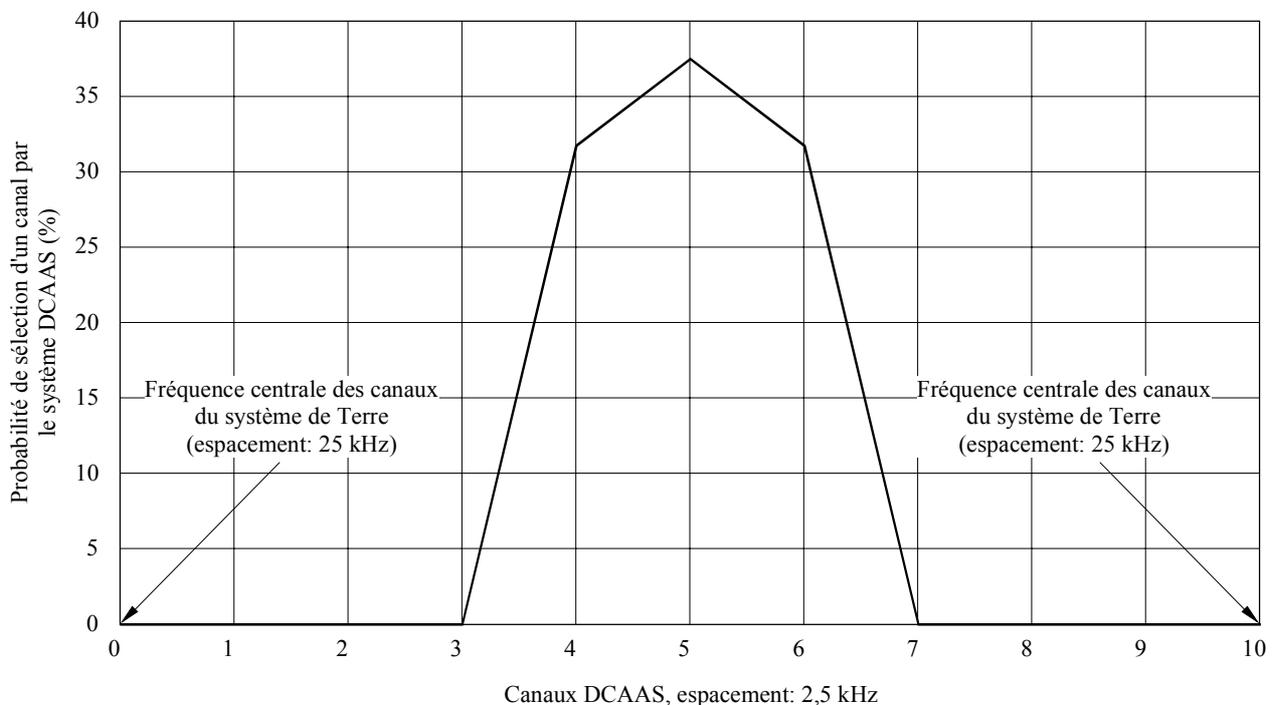
## 5 Démonstration des possibilités d'éviter les brouillages

### 5.1 Simulation initiale d'essais

Dans de nombreux pays, les principaux utilisateurs de la bande de fréquences sur la liaison montante sont les systèmes mobiles de Terre. Le DCAAS est spécifiquement conçu pour éviter les canaux occupés dans cette bande. En déterminant les canaux non occupés et en assignant ces canaux «libres» aux stations terriennes mobiles utilisées par les abonnés, ce système répondra aux critères définis. La Fig. 15 illustre la probabilité de sélection des canaux de l'algorithme DCAAS. L'algorithme a été mis à l'essai dans le cadre d'une simulation réalisée à partir d'un ensemble de données d'occupation des fréquences pour une année entière, rassemblées par un satellite de démonstration des communications (CDS, *communications demonstration satellite*) qui collecte les données de balayage dans la bande 148-149,9 MHz d'une altitude de 750 km. Les CDS sont des satellites expérimentaux placés en orbite basse, conçus pour collecter des informations sur les utilisations de la bande 148-149,9 MHz par les services de Terre. Ces satellites ont rassemblé des données pendant approximativement deux années d'une altitude voisine de 750 km.

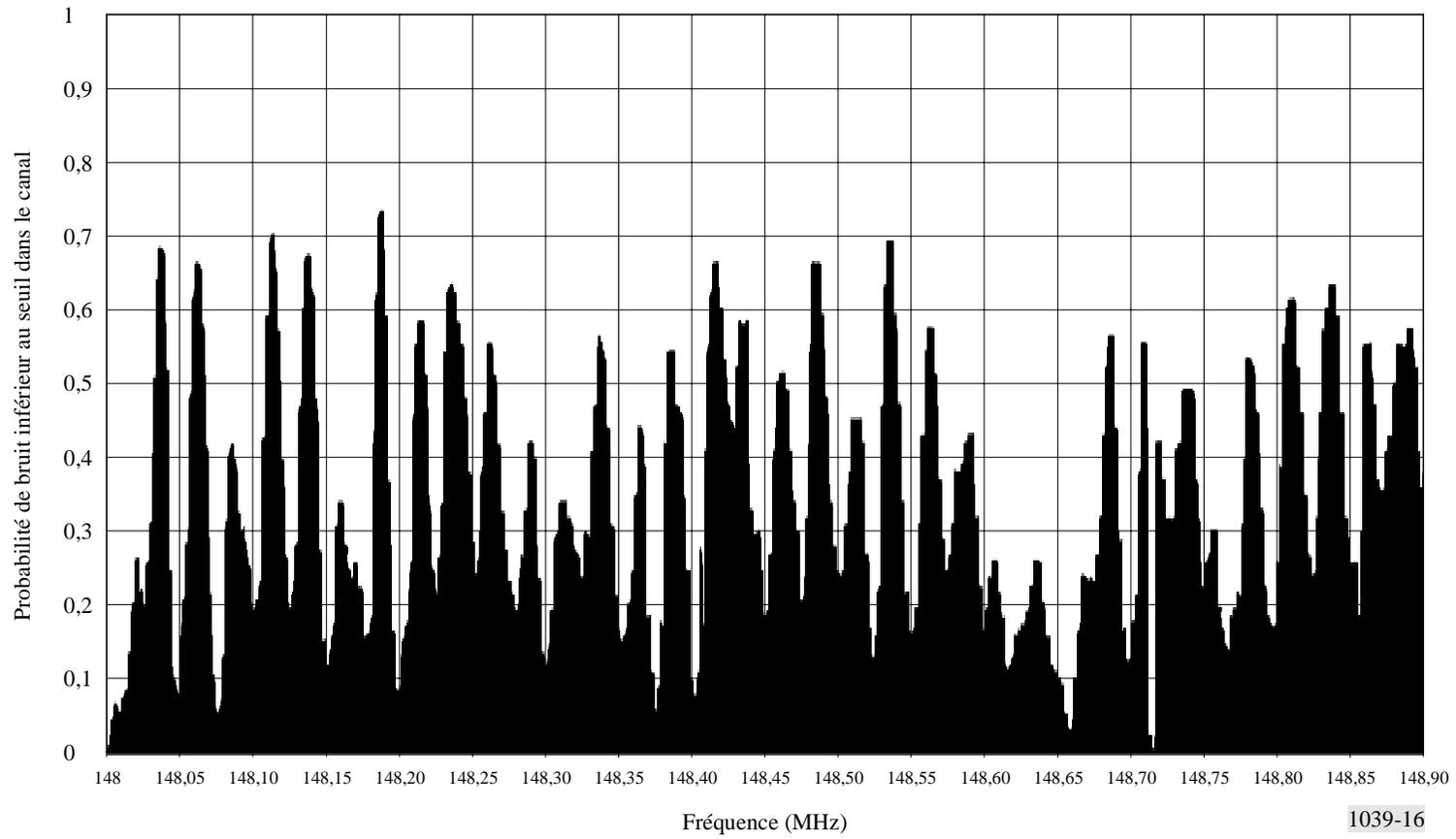
FIGURE 15

Sélections de fréquences faites par le système DCAAS



Graphe établi par simulation sur la base d'un ensemble de données d'occupation des fréquences sur l'ensemble de l'année, extraites des enregistrements effectués par un satellite CDS

FIGURE 16  
Probabilité de canaux exempts de brouillage



## 5.2 Essais de démonstration

Une administration a lancé récemment un programme d'essais pour évaluer la sensibilité du récepteur du satellite non OSG du SMS et les possibilités du système DCAAS en fonction de l'activité observée au niveau de la détection de la puissance du bruit ou de l'occupation de canaux due à un bruit élevé ou à une porteuse mobile terrestre vocale analogique, dans la bande 148-149,9 MHz. Une série d'essais de démonstration (DTS, *demonstration test set*) effectuée pendant deux jours où 6 à 8 passages de satellite efficaces (élévation élevée) par jour en moyenne ont eu lieu.

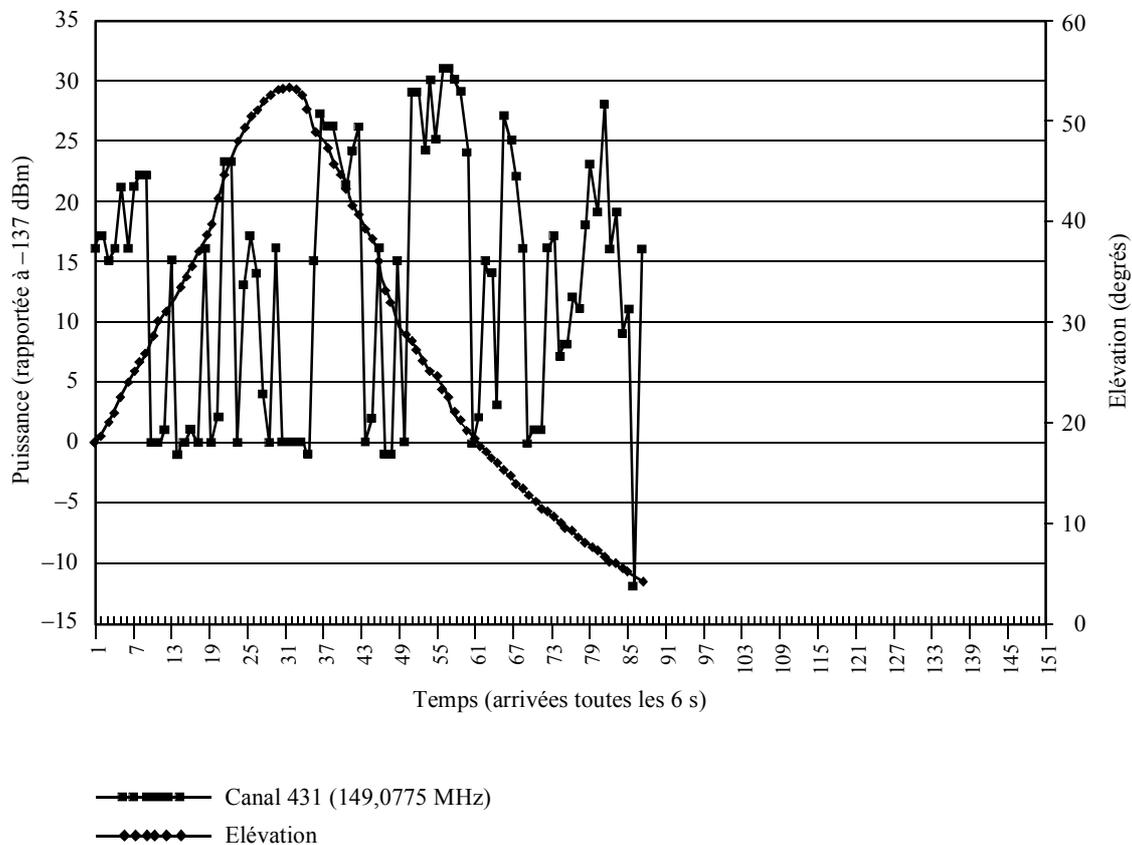
Trois types d'essai ont été réalisés:

- essais de sensibilité du récepteur satellite;
- commutation par le système DCAAS dans des conditions normales et lors de la simulation d'une émission de station terrestre mobile dans le canal assigné par le système DTS;
- simulation par le système DTS d'un signal brouilleur de station terrestre émettant dans le même canal qu'un système mobile terrestre vocal analogique.

### 5.2.1 Essais de sensibilité du récepteur satellite

Le système DTS a été configuré pour recevoir les données du balayage envoyées par le satellite sur la liaison descendante. Les données de balayage indiquaient le niveau (de puissance) de bruit dans la bande 148-149,9 MHz que le satellite pouvait observer dans sa zone de couverture de 3 000 miles de diamètre. Les balayages ont permis de vérifier la sensibilité des récepteurs satellites détectant les émetteurs de radiomessagerie de haute puissance utilisés dans les réseaux de radiomessagerie des administrations, et les émissions de stations de base mobiles utilisées par l'administration en question pour transmettre une porteuse de 5 W à différents angles d'élévation du satellite durant le passage de ce dernier. Comme l'indique la Fig. 17, le satellite a détecté la porteuse de station de base mobile selon des angles d'élévation de 50° et de 30° quand la porteuse était active et de 45° et 20° quand la porteuse était inactive. Il a été confirmé que le niveau de bruit du récepteur satellite était de -137 dBm environ dans la largeur de bande du canal du récepteur de 2,5 kHz. Ce niveau de bruit était suffisant pour détecter facilement un émetteur de SMT de 500 mW.

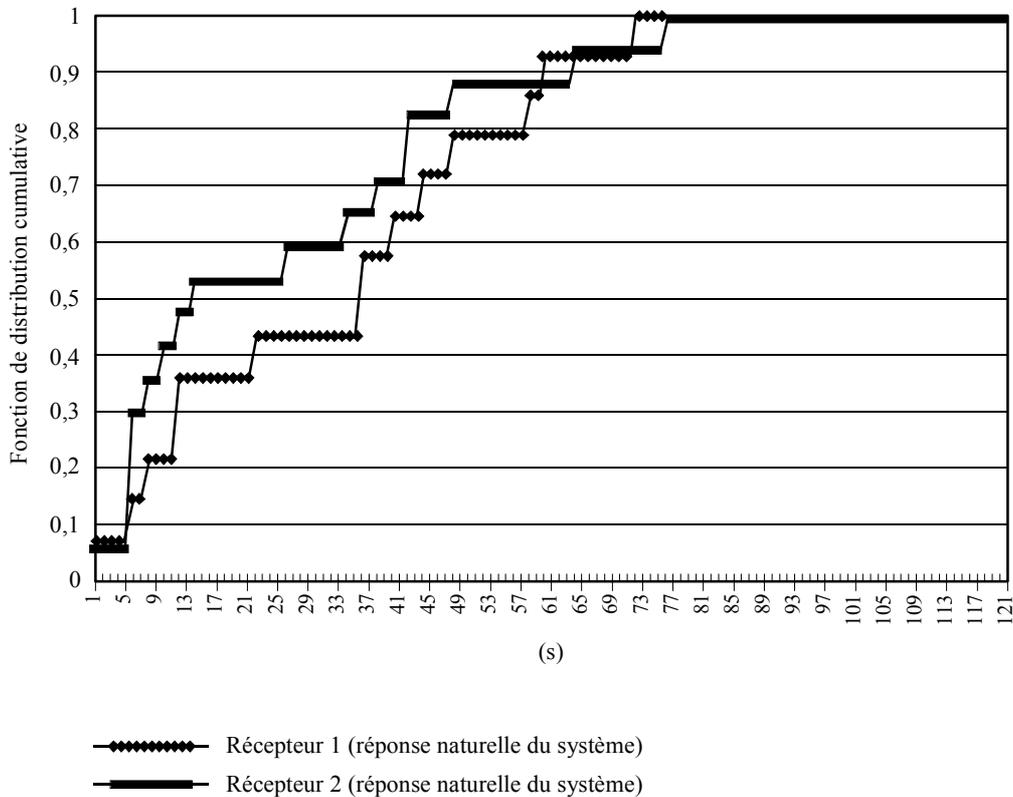
FIGURE 17  
Puissance reçue au niveau de l'engin spatial



5.2.2 Essais effectués sur le système DCAAS

Au cours des essais effectués sur le système DCAAS, le système DTS a d'abord été configuré pour contrôler la commutation des canaux assignés sur la liaison montante par le système DCAAS, commandée en fonction de l'occupation réelle du spectre. En effet, comme le montre la Fig. 18, (distribution cumulative de la commutation des canaux de réception 1 et 2) il apparaît que pendant 60% du temps, la commutation des canaux se produit dans un délai de 30 s. L'essai suivant a simulé un émetteur brouilleur de station mobile terrestre ou un brouilleur de puissance de bruit élevée dans le canal de réception assigné sur le satellite. Dans cet essai dit sous contrainte du système DCAAS, nous configurons le système DTS pour qu'il reçoive du DCAAS les informations relatives aux canaux assignés sur la liaison montante comme s'il s'agissait d'une station STM. Toutefois, au lieu d'envoyer des informations d'acquisition, le système DTS génère sur ce canal un signal de bruit aléatoire.

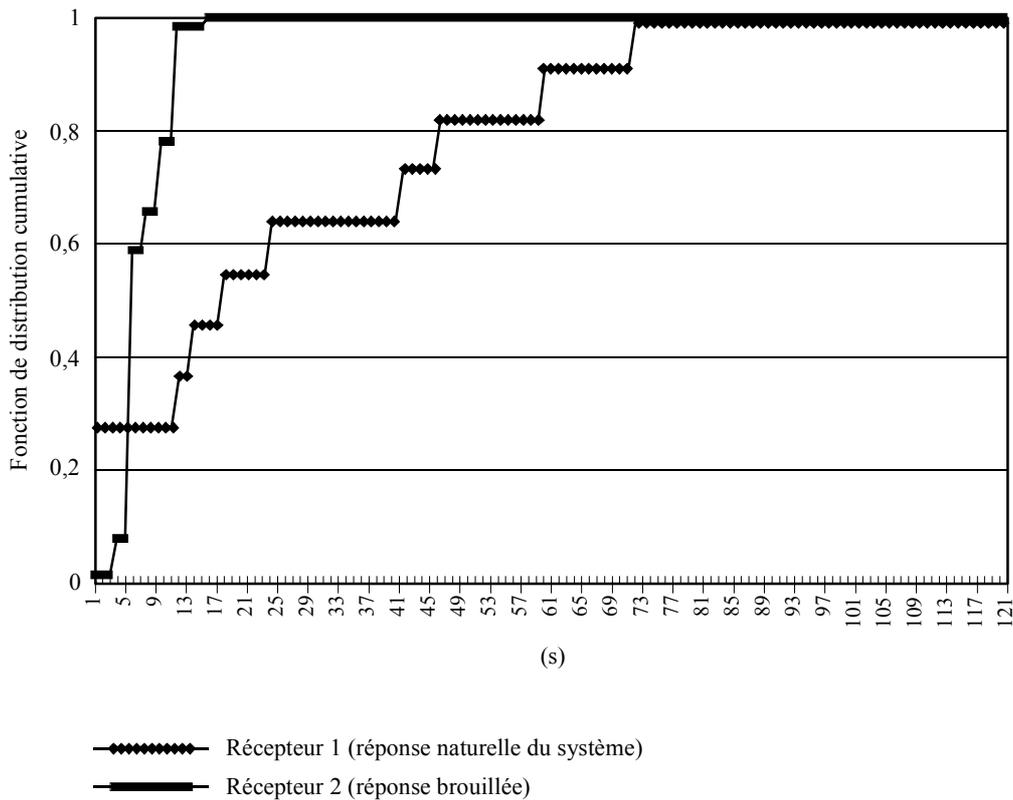
FIGURE 18  
Distribution des durées sur certains canaux



1039-18

Ces essais ont permis de vérifier que le système DCAAS commuterait le canal de réception après un seul balayage (d'une durée de 6 s environ) pendant 60% du temps et après 2 balayages (environ 12 s) dans plus de 90% des cas (voir la Fig. 19).

FIGURE 19  
Distribution des durées sur certains canaux



1039-19

### 5.2.3 Brouillages causés aux systèmes mobiles terrestres

Dans les essais de brouillage de systèmes mobiles terrestres, on a configuré le système DTS pour simuler des émissions de salves de données de 3 ms, 50 ms, 100 ms et 450 ms d'une station STM. La puissance de ces émissions pourrait varier entre 10 et 30 dBm. Les résultats suivants ont été observés:

- les salves d'émission de station STM dans le même canal ne déclenchent pas le silencieux à commande par tonalité des récepteurs des stations mobiles terrestres;
- les émissions de salves de données de 3,3 ms des stations STM sont trop courtes pour déclencher le silencieux de porteuse du récepteur du service mobile ou brouiller les conversations en cours;
- les récepteurs du service mobile équipés d'un silencieux de porteuse subiront des déclenchements du silencieux lorsqu'une station STM émet dans le même canal des salves de données plus longues (50 ms) à environ 25 km de distance, selon les obstacles et la sensibilité du récepteur du service mobile, ce qui est compatible avec les distances de coordination attendues mentionnées dans d'autres sections de la présente Recommandation;
- il a été observé que l'impact effectif des émissions du système DTS sur le service mobile terrestre se manifeste pendant les communications. Dans le trafic, les salves du système DTS étaient perceptibles pour des salves de données de station STM dans le même canal de 50 et de 100 ms; par ailleurs, des interruptions des messages reçus avaient lieu lorsque les salves de données duraient 450 à 500 ms. Il a été également observé que l'effet subjectif des salves du système DTS est fonction du rapport porteuse utile/bruit,  $C/I$ , lequel dépend directement de la distance entre le récepteur du service mobile et la station STM et de la distance entre ces deux éléments et l'émetteur mobile terrestre. La distribution de probabilité est traitée dans d'autres sections de la présente Recommandation.