

RECOMMANDATION UIT-R M.1039-1

**PARTAGE DE MÊMES FRÉQUENCES ENTRE STATIONS DU SERVICE MOBILE ET
STATIONS TERRIENNES MOBILES AMRF UTILISANT DES ORBITES AUTRES
QUE CELLE DES SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES DANS
LES BANDES DE FRÉQUENCES AU-DESSOUS DE 1 GHz**

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

(1994-1997)

Résumé

La présente Recommandation propose une méthode de calcul statistique à utiliser pour évaluer les possibilités de partage entre les stations terriennes mobiles avec accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) et d'autres stations du service mobile. Une technique d'assignation dynamique des canaux propre à faciliter le partage est présentée.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que le spectre radioélectrique alloué par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) aux systèmes du service mobile par satellite (SMS) opérant avec des satellites sur orbite terrestre basse (LEO) doit, en cas de partage avec des services mobiles, assurer une protection adéquate contre les brouillages préjudiciables;

b) que les systèmes LEO du SMS peuvent assurer des services utiles de radiocommunication, notamment des services d'alerte (voir la Note 1), à l'intention d'un grand nombre de voyageurs.

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

c) que l'utilisation d'orbites terrestres basses permet aux stations spatiales de se servir effectivement des fréquences au-dessous de 1 GHz;

d) que certaines techniques de coordination et de découpage en canaux utilisées par les systèmes radioélectriques des services mobiles dans les bandes de fréquences au-dessous de 1 GHz permettent de réduire la charge de trafic en erlang sur les différents canaux;

e) 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 services mobiles par satellite comportant un facteur d'utilisation réduit;

f) que les usagers feraient appel à ces services à l'intérieur de zones géographiques étendues;

g) que les stations terriennes mobiles émettent à raison de brèves émissions,

recommande

1 que les méthodes de calcul statistique présentées dans l'Annexe 1 soient utilisées afin d'évaluer le partage de la même bande de fréquences entre les stations terriennes mobiles AMRF du service mobile par satellite et les services mobiles.

2 d'envisager d'utiliser des techniques d'assignation dynamique des voies analogues aux techniques décrites dans l'Annexe 2 dans le cas des systèmes du SMS à satellites non géostationnaires (à bande étroite) exploités dans les attributions faites à ce service au-dessous de 1 GHz dans des bandes permettant de promouvoir la compatibilité avec les services de Terre.

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

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 stations terriennes mobiles fixées, le cas échéant, afin de pouvoir partager le spectre avec des services mobiles (voir la Note 1).

NOTE 1 – De plus, les liaisons montantes de la station terrienne mobile 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 en pourcentage 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 au plus) 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 stations terriennes mobiles 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 station terrienne mobile (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 station terrienne mobile (W)
- BW_{stm} : largeur de bande du signal de l'émetteur de la station terrienne mobile (Hz)
- pfd_t : puissance surfacique considérée comme préjudiciable (W/m²)
- N_t : nombre maximum probable d'émetteurs de station terrienne mobile 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 stations terriennes mobiles, 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 stations terriennes mobiles

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 stations terriennes mobiles 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 en ondes métriques, par les émetteurs des liaisons montantes des systèmes LEO du SMS. L'évaluation d'un modèle de propagation approprié en ce qui concerne les autres bandes de fréquences au-dessous de 1 GHz exige des études complémentaires.

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 des ondes métriques reçues:

$$E = \frac{88 \sqrt{P}}{\lambda d^2} h_t h_r \quad (\mu\text{V/m})$$

où:

P : puissance d'émission (W)

h_t : hauteur de l'antenne d'émission (m)

h_r : hauteur de l'antenne de réception (m)

d : distance (km)

λ : longueur d'onde (m).

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

$$pfd(d) = \frac{(E \times 10^{-6})^2}{120 \pi}$$

Pour évaluer le brouillage potentiel d'une station mobile par un émetteur des systèmes LEO du SMS, il conviendrait de choisir une hauteur d'antenne de l'ordre de 10 m. 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 dans 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:

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

où:

n : nombre d'émetteurs fonctionnant simultanément

Λ : 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 Λ . 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 Λ , 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 $N_t = 4$, 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

⁽¹⁾ $C_a(n)$: fonction de distribution cumulative de $P_a(n)$.

La puissance surfacique incidente totale au niveau d'un récepteur du service mobile, produite par un certain nombre d'émetteurs d'égale puissance des STM, est donnée par la formule suivante:

$$pfd_t(d) = \frac{\left(88 \frac{\sqrt{p.i.r.e_{stm} \cdot N_t}}{\lambda d^2} h_t h_r \times 10^{-6} \right)^2}{120 \pi}$$

6 Évaluation 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 m²). 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.

On montre 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:

$$P_s(d_i) = \frac{d_i}{norme}$$

avec:

$$norme = \sum_{i=0}^{N_i} d_i$$

où:

N_i : nombre total d'échantillons

d_i : valeurs discrètes des distances de séparation.

Pour assurer une résolution adéquate du modèle, les N_i doivent être choisis de telle sorte que $d_{max}/N_i \leq 0,5$ km.

Le filtrage discriminateur des émissions de station terrienne mobile au niveau des récepteurs des stations mobiles doit être calculé, pour des fréquences décalées de 2,5 kHz, au moins de 0 à 12,5 kHz.

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 filtre 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. La relation ci-dessous résume ces calculs:

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

relation dans laquelle:

A_j : discrimination j à 2,5 kHz de la fréquence centrale du récepteur mobile.

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 Évaluation 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.

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

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 station terrienne mobile

La loi de Poisson permet de calculer la probabilité de fonctionnement simultané de plusieurs émetteurs 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 Λ , 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 Λ de la loi de Poisson; enfin l'incidence d'un pourcentage donné du trafic total peut être évaluée en réduisant la valeur de Λ 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 Λ 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 stations terriennes mobiles 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.

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

APPENDICE 1 DE L'ANNEXE 1

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 station terrienne mobile (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.

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.

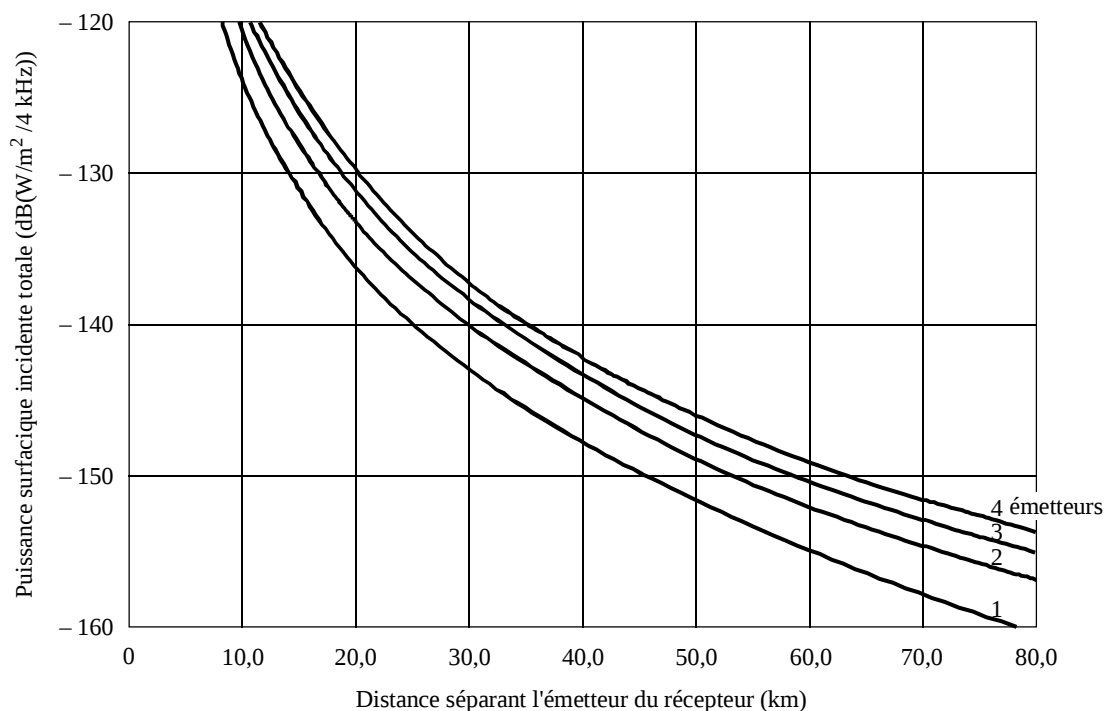
L'exemple suppose la mise en place du dispositif suivant de discrimination entre l'émetteur de la STM et le récepteur de la station mobile:

Espacement (kHz)	Discrimination (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 § 5 de l'Annexe 1. La Fig. 1 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 1.

FIGURE 1
Puissance surfacique en fonction de la distance



D'après la Fig. 1, un niveau de protection de $-140 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$ serait dépassé en présence de:

- un émetteur éloigné de 25 km,
- deux émetteurs éloignés de 30 km,
- trois émetteurs éloignés de 33 km,
- quatre émetteurs éloignés de 35 km.

Pour un seuil de protection fixé à $-140 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$, le contour de coordination devrait donc être défini par un rayon de 35 km.

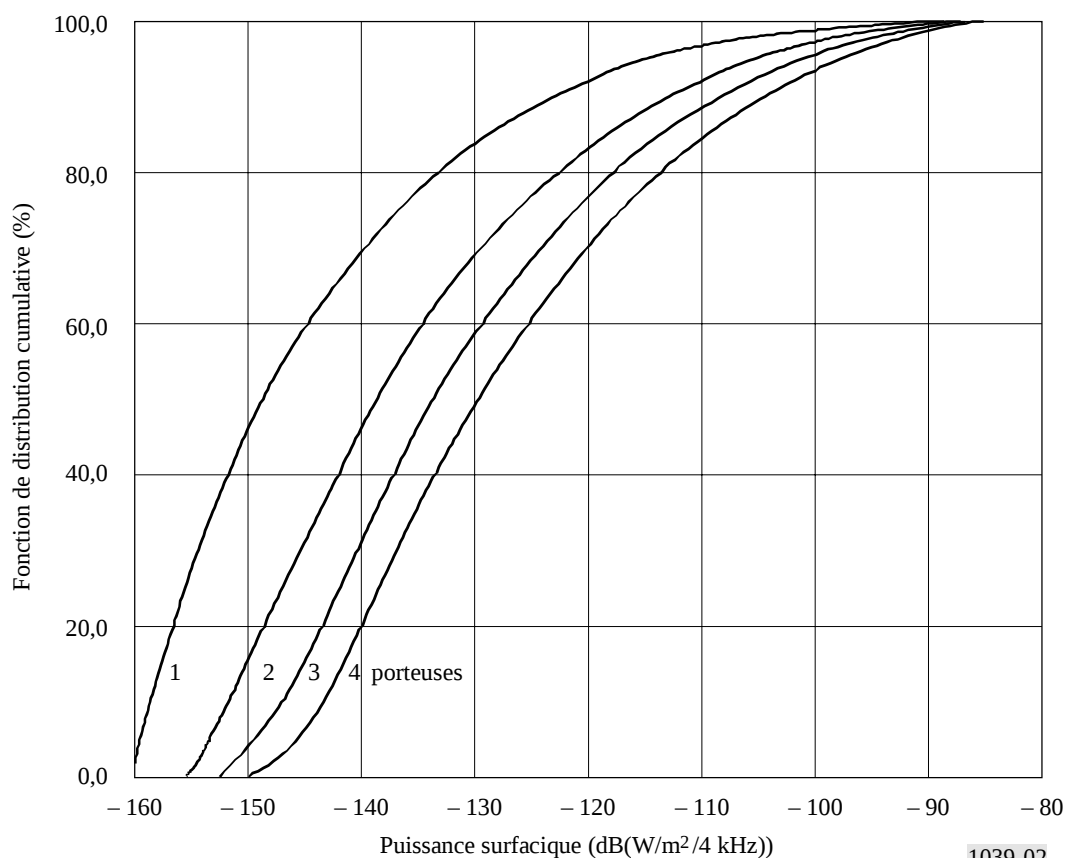
Lorsqu'un dépassement du niveau de protection est possible, il faut alors déterminer la probabilité d'un tel dépassement. On procède à cet effet à l'analyse probabiliste décrite aux § 6 à 9 de l'Annexe 1.

3 Distributions de puissance surfacique

La Fig. 2 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 $-160 \text{ dB(W/m}^2/4 \text{ kHz)}$. Les courbes présentées correspondent à des fonctions de distribution cumulative.

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.

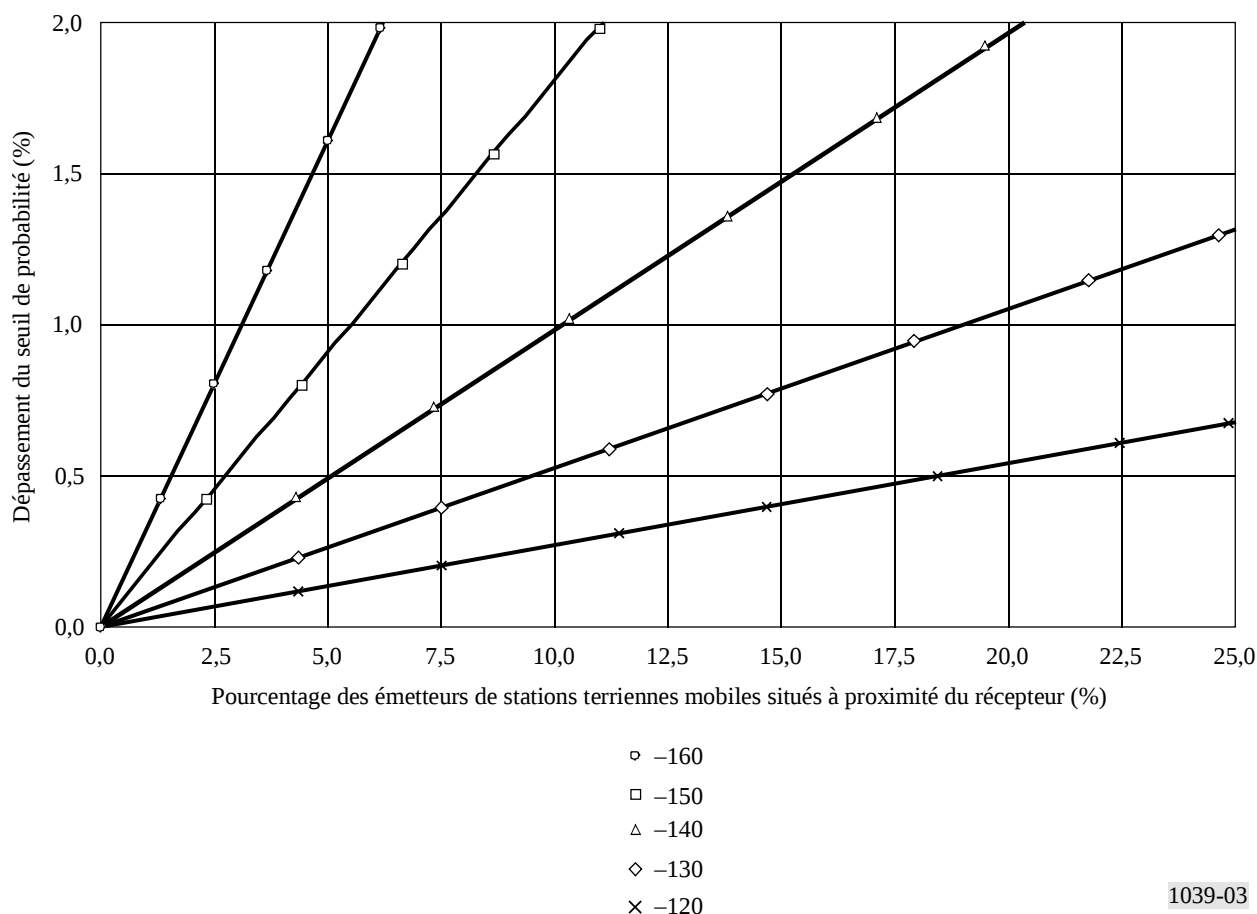
FIGURE 2
Distribution de la puissance de brouillage



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. 3 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 dB(W/m²/4 kHz), 20% 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 3
Probabilité de brouillage



1039-03

ANNEXE 2

Technique d'assignation dynamique des canaux

1 Introduction

Les systèmes mobiles à satellites fonctionnant au-dessous de 1 GHz peuvent utiliser une technique connue sous le nom de système d'assignation dynamique des canaux en fonction de l'activité observée (dynamic channel activity assignment system (DCAAS)) pour permettre aux STM de communiquer efficacement en présence d'un brouillage de la liaison montante pratiquement dans le même canal, dû aux émetteurs mobiles. Grâce à ce procédé, les canaux de la liaison montante du SMS peuvent être assignés à nouveau (environ toutes les 10 s) en fonction de la durée statistique d'utilisation des canaux par les émetteurs mobiles.

L'algorithme d'assignation dynamique des canaux commence par un balayage de toute la bande de fréquences de la liaison montante, effectué par le satellite avec une valeur de pas et une largeur de bande de mesure normalement égale à celle de la bande de modulation de la porteuse de la liaison montante d'un système LEO du SMS. La puissance instantanée observée à partir du satellite à l'intérieur de chaque canal potentiel est enregistrée. Cette série de mesures est combinée à des mesures antérieures, de façon à attribuer à chaque canal potentiel une moyenne temporelle pondérée, qui tient compte des statistiques à court terme et à long terme d'activité vocale et d'activité sémaphore. Les canaux sont ensuite classés par ordre d'intérêt en fonction des risques de brouillage qu'ils comportent.

Chaque satellite met à jour périodiquement la liste des canaux que doivent utiliser des STM. Une liste d'une partie des canaux réputés utilisables est ainsi envoyée aux STM, lesquelles choisissent dans cette liste lorsqu'elles amorcent une transaction sur la liaison montante. Le système conserve la gestion des canaux utilisables restants, disponibles pour assignation à des STM.

2 Description d'un système DCAAS

Pour résumer, chaque satellite de la constellation SMS non géostationnaire surveille la bande 148-149,9 MHz. Dans le cas de la constellation considérée, la bande est balayée en permanence à intervalles de 5 s. Le système décrit dans les lignes qui suivent fonctionne actuellement dans le réseau LEOTELCOM-1 (ORBCOMM) dans l'attribution 148-149,9 MHz du SMS.

L'élément essentiel de la technique de prévention des brouillages sur les liaisons montantes dans la bande 148-149,9 MHz est le système DCAAS.

Ce système est articulé sur un récepteur à balayage capable de mesurer la puissance d'un signal brouilleur dans la totalité de la bande, par petites fractions de largeur de bande, à intervalles de 5 s ou à intervalles inférieurs. L'information ainsi obtenue sur les éventuels signaux brouilleurs est traitée à bord du satellite qui établit une liste des meilleurs canaux montants établie par ordre de priorité selon le niveau de puissance brouilleuse attendu sur le canal pendant la période correspondant au balayage suivant. Les canaux sélectionnés par le DCAAS sont choisis dans l'ensemble de ces canaux montants «possibles», c'est-à-dire dans la liste de priorité décroissante établie en permanence par le satellite. Chaque satellite a donc en mémoire sa propre liste de canaux montants candidats, ce qui prévient tout problème de brouillage de liaison montante d'un satellite à l'autre dans le système. En condition réelle, avec les deux premiers satellites, il est apparu que le système DCAAS pouvait désigner les canaux exempts de brouillage pendant le balayage suivant l'observation avec une précision meilleure que 98%.

3 Description technique

Le présent paragraphe est une description technique des éléments de la technique DCAAS.

Le système est articulé sur un plan de répartition des canaux caractérisé par un espacement de 2,5 kHz, alors que les services mobiles en place, aux États-Unis d'Amérique et dans un grand nombre d'autres pays, prévoient un espacement des fréquences centrales des émetteurs et des récepteurs de 25 kHz. Dans la Fig. 4, les canaux «0» et «10» sont des canaux du système mobile américain. La courbe indique la probabilité d'assignation d'un canal à un utilisateur. La figure montre que, pour l'année 1993, le système DCAAS n'aurait sélectionné aucune fréquence directement liée au plan d'espacement de 25 kHz du service mobile considéré.

3.1 Longueur de message

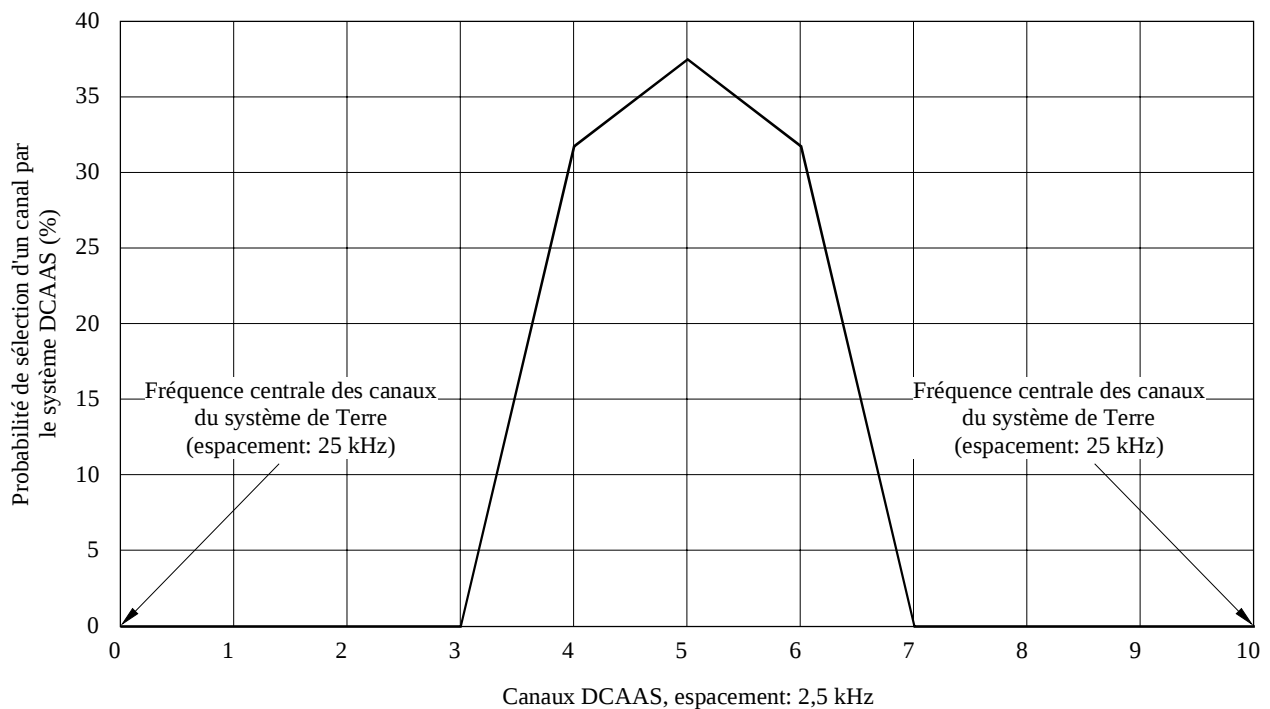
Dans une constellation avec agilité de fréquence, l'abonné peut être à l'origine de deux types de transmissions, à savoir une brève transmission correspondant à une demande d'accès à un canal à accès aléatoire ou encore une transmission de message plus longue sur un canal spécialisé. Chaque transmission 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, soit 108 octets à 2 400 bit/s, 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.

FIGURE 4
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

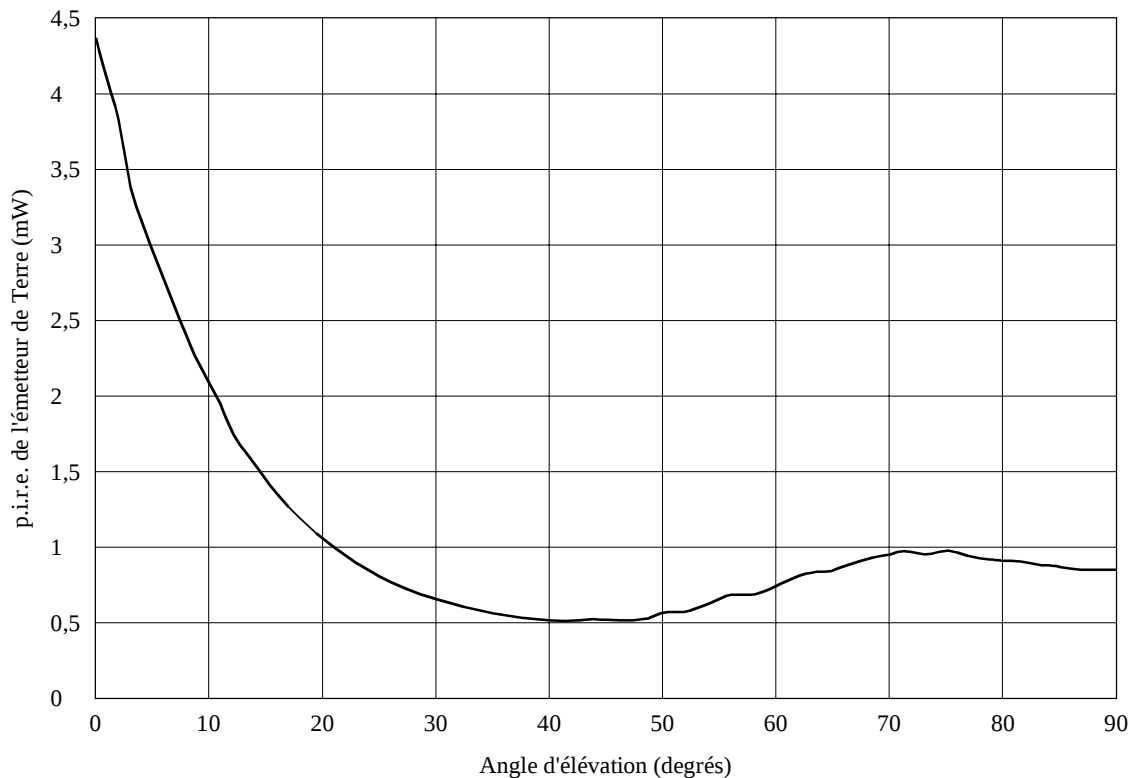
1039-04

3.2 Sensibilité du système DCAAS

Les récepteurs installés à bord des satellites ont un niveau plancher de bruit de -137 dBm dans une largeur de bande de 2,5 kHz. Ce chiffre résulte de la combinaison des éléments suivants: caractéristique de bruit du récepteur (2 dB), affaiblissement entre l'antenne et le récepteur (1,6 dB), antenne quasi équidirective, température d'antenne 480 K. Le système DCAAS détecte et peut éviter tout signal émis par un système de Terre dont le niveau à la réception est supérieur de 1 à 2 dB au niveau indiqué. La p.i.r.e. de l'émetteur du système de Terre requise pour une réception à un niveau de -135 dBm au satellite est fonction de l'angle d'élévation du satellite (voir la Fig. 5).

FIGURE 5

p.i.r.e. d'un émetteur de Terre «perçue» et évitée par le système DCAAS ORBCOMM



Niveau de p.i.r.e. nécessaire pour produire un niveau de
signal de -135 dBm au récepteur
DCAAS (filtre de réception à 2,5 kHz)

1039-05

Comme le montre la Fig. 6, le système DCAAS peut détecter des émetteurs de Terre dont la puissance est de l'ordre de 1 à 5 mW, selon la position relative du satellite et de l'émetteur. Les émissions de Terre de l'ordre de 5 à 10 mW devraient toujours pouvoir être détectées et évitées.

4 Possibilité d'éviter les brouillages

Un système SMS non géostationnaire utilisant la technique DCAAS avec deux satellites est déjà en service. Ces satellites sont utilisés pour des séries d'essais devant permettre d'établir que le système fonctionne comme prévu.

Dans de nombreux pays, les principaux utilisateurs de la bande de fréquences 148-149,9 MHz sont les systèmes mobiles de Terre de l'administration centrale. Le DCAAS est spécifiquement conçu pour éviter des canaux occupés dans la bande 148-149,9 MHz. 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. 7 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 (Communications Demonstration Satellite – CDS) 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 6
Balayage type d'un CDS

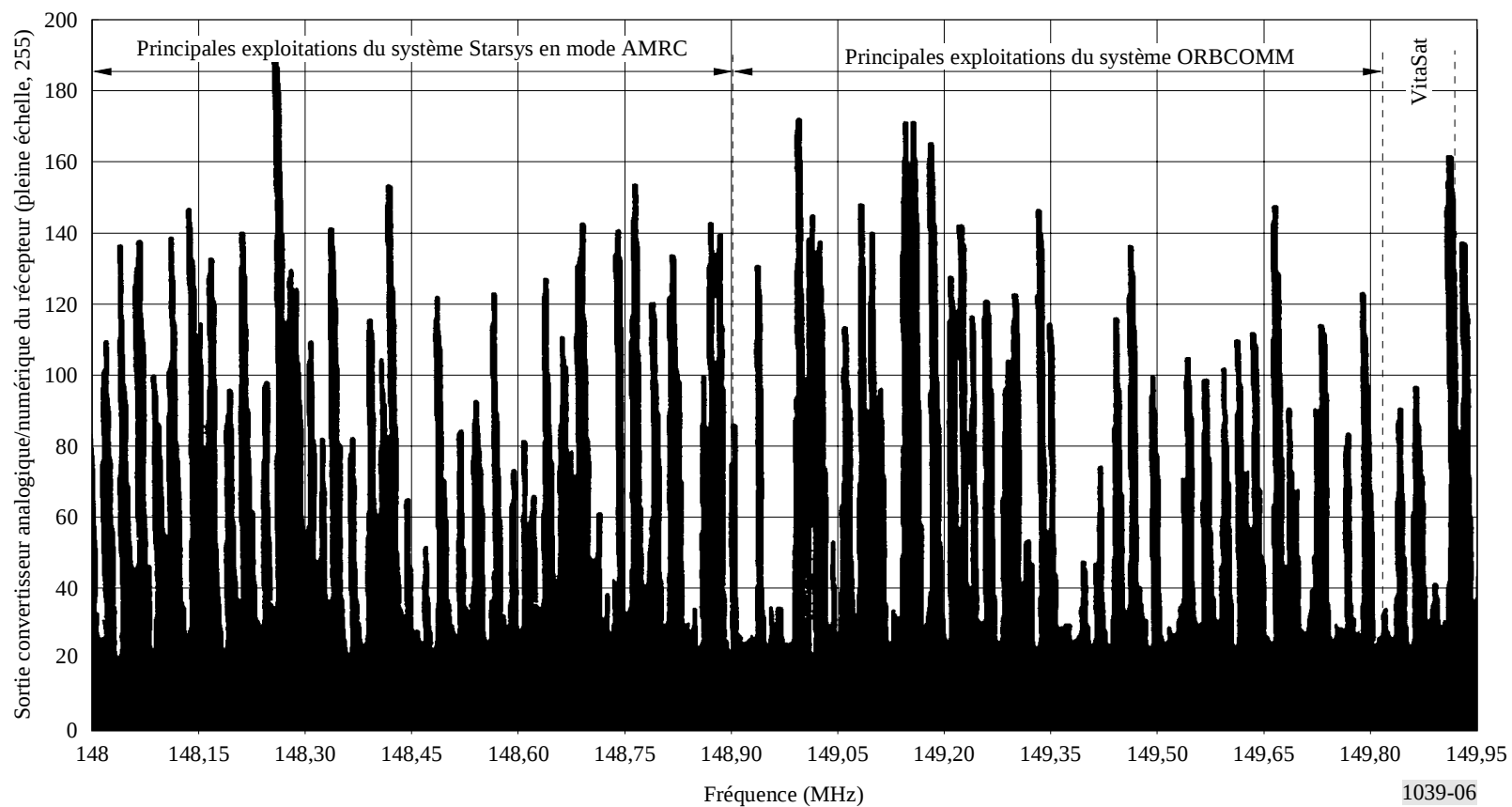
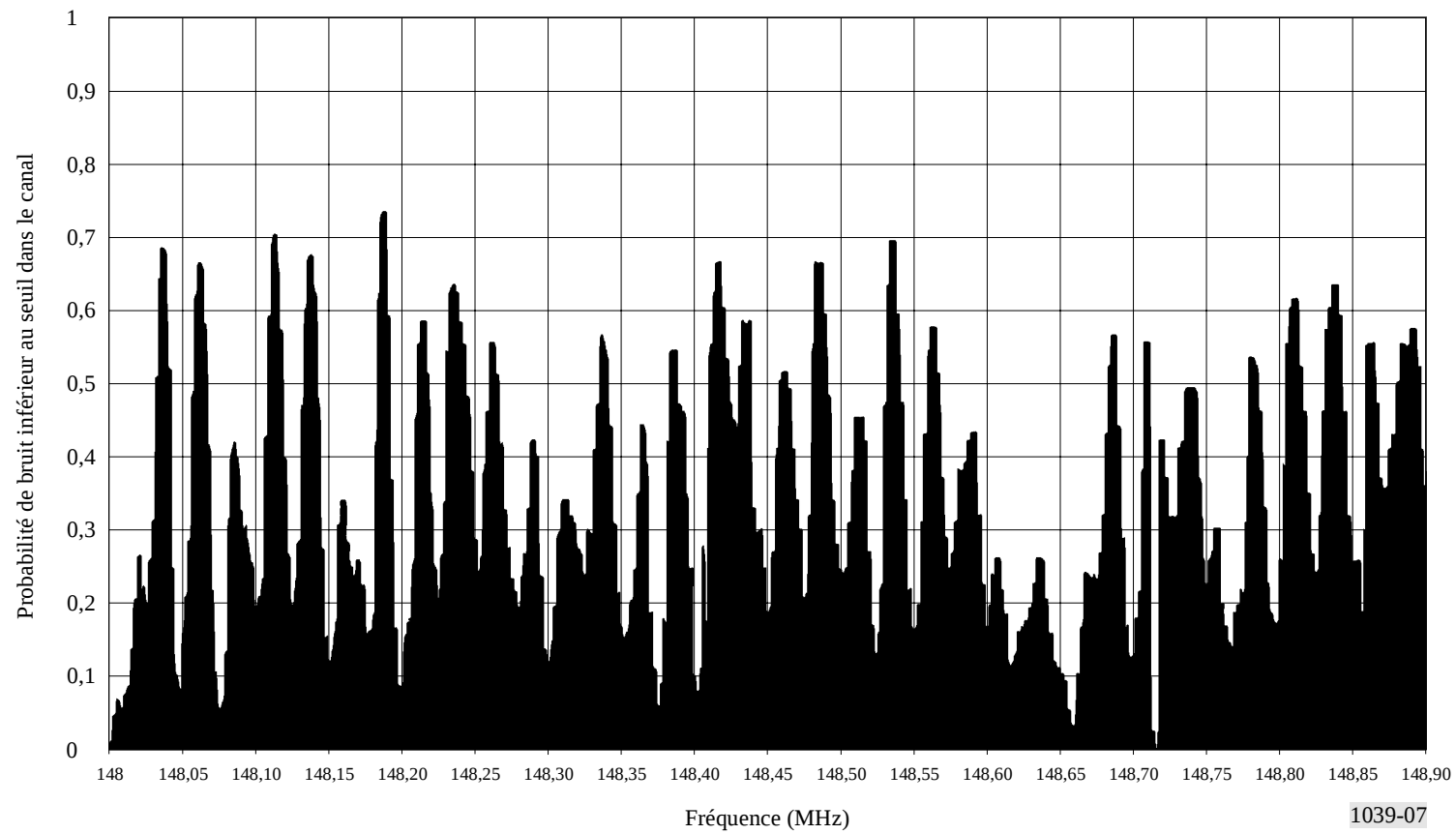


FIGURE 7
Probabilité de canaux exempts de brouillage



5 Résumé

Le DCAAS est une technique permettant d'optimiser les capacités des systèmes SMS non géostationnaires exploités à des fréquences inférieures à 1 GHz en matière d'utilisation en partage de mêmes fréquences avec divers services de Terre (fixes et mobiles). Il apparaît que des systèmes SMS non géostationnaires à modulation de fréquence dans la bande 148-149,9 MHz utilisant cette technique peuvent partager de mêmes fréquences dans des conditions optimales avec d'autres services primaires dans cette bande, la seule limite en l'occurrence étant constituée par les encombrements et la probabilité de canaux exempts de brouillage similaire à celle présentée à la Fig. 7.
