

## RECOMMANDATION UIT-R M.1475

**MÉTHODE DE CALCUL DES OBJECTIFS DE QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT  
DES SYSTÈMES DU SERVICE MOBILE PAR SATELLITE NON  
GÉOSTATIONNAIRE EXPLOITÉS DANS LA BANDE 1-3 GHz  
ET N'UTILISANT PAS LA DIVERSITÉ DE SATELLITE**

(Question UIT-R 87/8)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) qu'il est prévu de mettre en œuvre des systèmes du service mobile par satellite non géostationnaire (SMS non OSG) dans la bande 1-3 GHz, ou que de tels systèmes sont déjà en cours de mise en œuvre;
- b) que des objectifs de qualité de fonctionnement seront définis pour le conduit numérique fictif de référence (CNFR) décrit dans la Recommandation UIT-R M.827;
- c) que la Recommandation UIT-R M.1181 définit des objectifs de qualité de fonctionnement pour les systèmes du SMS OSG;
- d) que des répéteurs régénérateurs ou non régénérateurs peuvent être utilisés dans les systèmes du SMS non OSG;
- e) que les méthodes de calcul des objectifs de qualité de fonctionnement diffèrent selon que les répéteurs sont régénérateurs ou non régénérateurs;
- f) qu'il convient de fixer des objectifs de qualité de fonctionnement pour les liaisons de connexion des systèmes du SMS non OSG sur la base des objectifs de qualité de fonctionnement de bout en bout;
- g) que les objectifs de qualité de fonctionnement sont utiles comme base pour définir des critères de brouillage,

*recommande*

- 1** de définir, pour les systèmes du SMS non OSG dotés de répéteurs non régénérateurs, des objectifs de qualité de fonctionnement pour une connexion de bout en bout à l'aide desquels on pourra calculer des objectifs de qualité de fonctionnement pour les liaisons de connexion et les liaisons de service de façon que 10% du temps d'indisponibilité puissent être attribués à la liaison de connexion;
- 2** d'utiliser la méthode présentée dans l'Annexe 1 pour déterminer les objectifs de qualité de fonctionnement applicables aux systèmes du SMS non OSG comportant des répéteurs non régénérateurs;
- 3** de définir, pour les systèmes du SMS non OSG dotés de répéteurs régénérateurs, des objectifs de qualité de fonctionnement pour une connexion de bout en bout, ou pour les liaisons de service et les liaisons de connexion séparément; à cet égard, on trouvera dans la Recommandation UIT-R S.614 ou UIT-R S.1062 des indications sur les objectifs de qualité de fonctionnement des liaisons de connexion.

## Méthode de calcul des objectifs de qualité de fonctionnement des systèmes du SMS non OSG comportant des répéteurs non régénérateurs

### 1 Calcul des objectifs de qualité de fonctionnement

#### 1.1 Définition d'un objectif de qualité de fonctionnement

Un objectif de qualité de fonctionnement est défini par une valeur seuil de la qualité de fonctionnement de bout en bout et par un pourcentage de temps acceptable défini comme suit: «Pourcentage de temps pendant lequel le taux d'erreur binaire (TEB) sans correction d'erreur directe (CED) est supérieur à un  $TEB_{th}$  de  $X\%$  (par exemple 0,1%, 1%, 10%, etc.) ou moins», où  $TEB_{th}$  et  $X(\%)$  sont respectivement le TEB seuil de la qualité de fonctionnement de bout en bout et le pourcentage temps d'indisponibilité. La moyenne de ce TEB doit être établie sur une période de  $Z$  s. (Cette valeur appelle un complément d'étude.)

#### 1.2 Valeur seuil de la liaison pour les objectifs de qualité de fonctionnement

La Recommandation UIT-R M.1181, qui traite de la disponibilité des liaisons du SMS OSG, dispose que la valeur du TEB seuil de la qualité de fonctionnement  $TEB_{th}$  ne doit pas dépasser  $4 \times 10^{-2}$  (sans CED) pour le trafic téléphonique mobile. A noter que cette valeur seuil dépend du type d'application offerte par le système du SMS considéré (par exemple, téléphonie, télécopie, transmission de données et, dans le cas de communications mobiles, à bord de véhicules et semi-fixes).

#### 1.3 Pourcentage de temps de disponibilité et d'indisponibilité

En raison des propriétés inhérentes aux systèmes du SMS, notamment les conditions d'occultation des liaisons des services du SMS, variables dans le temps, et de la mobilité des terminaux d'utilisateur, il peut être réaliste d'utiliser la valeur indiquée dans la Recommandation UIT-R M.1181 pour les systèmes du SMS OSG, c'est-à-dire des pourcentages de temps de disponibilité ( $X\%$ ) compris entre 90% et 95%, pour les systèmes du SMS non OSG.

### 2 Principes et hypothèses de base

#### 2.1 Valeur seuil du rapport $C/N_T$

Le rapport de puissance porteuse/bruit de la liaison de bout en bout peut être calculé à l'aide de l'objectif de qualité de fonctionnement défini par le  $TEB_{th}$ . A titre d'exemple, on suppose que la valeur seuil de bout en bout  $(C/N_T)_{th}$  (où «*th*» désigne le seuil) applicable au trafic téléphonique mobile employant la modulation MDP-4 est de 7 dB, pour un seuil de TEB de  $4 \times 10^{-2}$  sans CED. A noter que la valeur de 7 dB de  $(C/N_T)_{th}$  est supérieure à la valeur théorique, afin de tenir compte de diverses dégradations rencontrées dans la pratique (marges pour la mise en œuvre des modems par exemple). Par ailleurs, pour d'autres SMS tels que le service de remise de données transportables, la valeur du TEB requis est plus rigoureuse (voir la Recommandation UIT-R M.1181), de sorte que la valeur du rapport  $(C/N_T)_{th}$  doit être d'au moins 15 dB.

#### 2.2 Dégradation du rapport $C/N_T$ et marge de la liaison de service et de la liaison de connexion

##### 2.2.1 Définitions

Le rapport total de puissance porteuse/bruit est désigné par la formule  $C/N_T$ . Le rapport  $C/N_T$  du système SMS non OSG peut donc être exprimé par la formule:

$$C/N_T = \left\{ [(C/N_T)_s]^{-1} + [(C/N_T)_f]^{-1} \right\}^{-1} \quad (1)$$

où  $C$  est la puissance de la porteuse de réception et  $N_T$  la somme de la puissance de bruit  $N$  (à l'exclusion du brouillage) et de la puissance de brouillage  $I$  c'est-à-dire  $N_T = N + I$ . Les suffixes *s* et *f* désignent respectivement la liaison de service et la liaison de connexion.

### 2.2.2 Dégradations du rapport $C/N_T$

Divers phénomènes donnent lieu à des dégradations du rapport  $C/N_T$ . Dans les bandes utilisées par les liaisons de service et les liaisons de connexion, l'affaiblissement et d'autres effets (tels que la position de la station mobile par satellite, le dépointage, la dépolarisation, la scintillation atmosphérique, l'absorption atmosphérique et l'occultation, etc.) auront pour effet de réduire le niveau de réception  $C$ . Le niveau de brouillage total,  $I$ , comprend les brouillages intrasystème et les brouillages intersystèmes, à savoir  $I = I_{Intra} + I_{Inter}$ . La contribution de brouillage total est donnée dans le Tableau 1. A noter que sur les liaisons de service et les liaisons de connexion, divers facteurs contribuent au brouillage, à savoir  $I = I_{liaison\ de\ service} + I_{liaison\ de\ connexion}$ ; en pareil cas, le pourcentage des contributions de brouillage peut être par exemple de 90% pour la liaison de service et de 10% pour la liaison de connexion. Le niveau de bruit dépend du rapport  $G/T$  et les modifications de cette valeur sont fonction de la dynamique de la liaison (position de l'utilisateur, gain du récepteur, diffusion par la pluie par exemple). Dans un souci de simplicité, on suppose que la contribution de ces facteurs à la dégradation du rapport  $C/N_T$  de bout en bout est considérée comme étant statistiquement indépendante.

TABLEAU 1

#### Types de brouillage intersystèmes et intrasystème subis par les systèmes du SMS non OSG

Liaison	Brouillage intrasystème	Brouillage intersystèmes
Liaison de service	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brouillage dans le même canal entre faisceaux ponctuels</li> <li>– Effets d'intermodulation (liaison descendante du satellite)</li> <li>– Brouillage par le canal adjacent (dans le même faisceau)</li> <li>– Brouillage contrapolaire à la même fréquence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Causé par d'autres services dans le même canal</li> <li>– Causé par d'autres systèmes dans le même canal</li> <li>– Emissions brouilleuses provenant d'attributions dans des canaux adjacents</li> </ul>
Liaison de connexion	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Effets d'intermodulation (liaisons montantes et descendantes)</li> <li>– Brouillage par le canal adjacent</li> <li>– Brouillage contrapolaire à la même fréquence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Causé par d'autres services dans le même canal</li> <li>– Causé par d'autres systèmes non OSG dans le même canal</li> <li>– Brouillage causé par des dispositifs non autorisés</li> <li>– Emissions brouilleuses provenant d'attributions dans des canaux adjacents</li> </ul>

### 2.2.3 Valeurs nominales du rapport $C/N_T$ et marges de liaison

Compte tenu de ce qui précède, le bilan de liaison prendra en considération les marges des liaisons de service et des liaisons de connexion, afin de tenir compte des divers facteurs d'affaiblissement et de dégradation de la transmission (voir le § 2.2.2). On part du principe que des valeurs appropriées sont données à la marge de la liaison de service,  $M_s$ , et à la marge de liaison de connexion,  $M_f$ , selon le système et les conditions de fonctionnement. Compte tenu de ces définitions, on peut donc écrire les équations suivantes:

$$\begin{aligned} (C/N_T)_{s,nom} &= M_s (C/N_T)_{s,th} \\ (C/N_T)_{f,nom} &= M_f (C/N_T)_{f,th} \end{aligned} \quad (2)$$

où  $th$  désigne le seuil et  $nom$  la valeur nominale.

### 2.2.4 Calcul des marges de liaison de service

Les informations les plus importantes pour le calcul des marges de liaison de service sont les données statistiques tirées des mesures de l'occultation et des évanouissements. La Recommandation UIT-R M.1188 donne, par exemple, des valeurs indicatives des marges de protection contre les évanouissements en fonction du taux  $TEB_{th}$  requis.

La relation entre la dégradation due aux évanouissements et le pourcentage de temps peut être obtenue à l'aide du modèle de propagation décrit dans la Recommandation UIT-R P.681. Dans le cas de satellites du SMS non OSG, par exemple, les caractéristiques de dégradation de la liaison ci-après sont déterminées pour les liaisons de service fonctionnant dans un environnement suburbain avec un angle d'élévation minimum de 30°:

Dégradation $(C/N_T)_s \leq 0$ dB	Pourcentage de temps: 50%
Dégradation $(C/N_T)_s \leq 5$ dB	Pourcentage de temps: 90%
Dégradation $(C/N_T)_s \leq 10$ dB	Pourcentage de temps: 95%
Dégradation $(C/N_T)_s \leq 20$ dB	Pourcentage de temps: 99%

### 2.2.5 Répartition du rapport $C/N_T$ entre les liaisons de service et les liaisons de connexion

Selon le type de liaison, on détermine la répartition du rapport  $C/N_T$  entre les liaisons de service et les liaisons de connexion, à savoir les rapports  $(C/N_T)_s$  et  $(C/N_T)_f$ . Dans le cas d'un répéteur non régénérateur fonctionnant dans des conditions nominales (c'est-à-dire par ciel clair), le rapport  $(C/N_T)_f$  est en général suffisamment plus élevé (par exemple de 10 à 20 dB) que le rapport  $(C/N_T)_s$ . Si le coefficient entre ces deux rapports n'est pas précisé, on suppose ici que le rapport  $(C/N_T)_f$  est  $K$  fois plus grand que le rapport  $(C/N_T)_s$ ; en conséquence:

$$(C/N_T)_{f,nom} = K (C/N_T)_{s,nom} \quad (3)$$

### 2.3 Répartition du pourcentage de temps d'indisponibilité

Le temps d'indisponibilité total de la liaison de bout en bout doit être réparti avec discernement entre les liaisons de service et les liaisons de connexion. La Recommandation UIT-R M.828 donne une définition de la disponibilité de bout en bout des systèmes du SMS.

La répartition du temps d'indisponibilité entre les liaisons de service et les liaisons de connexion est traitée dans la Recommandation UIT-R M.1181, dans laquelle 10% du temps d'indisponibilité sont attribués à la liaison de connexion. On part de l'hypothèse que cette répartition s'applique également aux systèmes du SMS non OSG.

### 2.4 Calcul des valeurs seuil du rapport $C/N_T$ pour les liaisons de service et les liaisons de connexion

Compte tenu de ce qui précède, nous avons les deux équations suivantes:

*Conditions nominales:*

$$\begin{aligned} (C/N_T)_{nom} &= \left[ (C/N_T)_{s,nom}^{-1} + (C/N_T)_{f,nom}^{-1} \right]^{-1} \\ &= \left\{ [M_s (C/N_T)_{s,th}]^{-1} + [M_f (C/N_T)_{f,th}]^{-1} \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

*Conditions de seuil:*

$$(C/N_T)_{th} = \left[ (C/N_T)_{s,th}^{-1} + (C/N_T)_{f,th}^{-1} \right]^{-1} \quad (5)$$

A partir des équations (4) et (5), on peut calculer les valeurs de seuil  $(C/N_T)_{s,th}$  et  $(C/N_T)_{f,th}$ . Après quelques opérations algébriques, on obtient:

$$(C/N_T)_{s,th} = \left[ 1 + M_f / (M_s K) \right] (C/N_T)_{th} \quad (6)$$

$$(C/N_T)_{f,th} = \left[ 1 + (M_s K) / M_f \right] (C/N_T)_{th} \quad (7)$$

où le rapport  $(C/N_T)_{th}$  est celui défini au § 2.1.

## 2.5 Calcul des objectifs de qualité de fonctionnement

### 2.5.1 Tolérances d'indisponibilité et de seuil

Si les tolérances de temps d'indisponibilité sont réunies (voir les § 1.3 et 2.3) et les tolérances de la valeur seuil du rapport  $C/N_T$  (voir le § 2.4), on obtient:

Pour la liaison de service:

- Le rapport  $(C/N_T)_s$  de la liaison de service peut être inférieur au rapport  $(C/N_T)_{s,th}$  pendant un pourcentage de temps inférieur ou égal à  $0,9 X$  (%).

Pour la liaison de connexion:

- Le rapport  $(C/N_T)_f$  de la liaison de connexion peut être inférieur au rapport  $(C/N_T)_{f,th}$  pendant un pourcentage de temps inférieur ou égal à  $0,1 X$  (%).

### 2.5.2 Objectifs de qualité de fonctionnement du SMS non OSG

Lorsqu'elles sont traduites en objectifs de qualité de fonctionnement, ces tolérances sont:

Pour la liaison de service:

- Le rapport  $(C/N_T)_s$  de la liaison de service doit être supérieur ou égal au rapport  $(C/N_T)_{s,th}$  pendant un pourcentage de temps supérieur ou égal à  $(100 - 0,9 X)$  (%).

Pour la liaison de connexion:

- Le rapport  $(C/N_T)_f$  de la liaison de connexion doit être supérieur ou égal au rapport  $(C/N_T)_{f,th}$  pendant un pourcentage de temps supérieur ou égal à  $(100 - 0,1 X)$  (%).

## 3 Exemple de calcul

### 3.1 Objectif de qualité de fonctionnement et temps d'indisponibilité

A titre d'exemple, dans le cas de systèmes du SMS non OSG utilisant la modulation MDP-4 et pour des applications téléphoniques mobiles, on suppose ce qui suit (voir également les § 1.3 et 2.1):

- Le pourcentage de temps total de disponibilité lorsque la valeur de seuil du rapport  $(C/N_T)_{th}$  de bout en bout est supérieure à 7 dB doit être de 95%.

Autrement dit:

- Le pourcentage de temps total d'indisponibilité lorsque la valeur de seuil du rapport  $(C/N_T)_{th}$  de bout en bout est inférieure à 7 dB ne doit pas être supérieur à 5%.

On obtient la valeur de  $X = 5\%$  utilisée dans les définitions du § 2.5.

Compte tenu du § 2.3, on répartit le temps d'indisponibilité  $X = 5\%$  entre la liaison de service et la liaison de connexion sous la forme du ratio de 90% et 10% respectivement; le temps total d'indisponibilité de la liaison de service et de la liaison de connexion s'établit donc à 4,5% pour la liaison de service et à 0,5% pour la liaison de connexion.

### 3.2 Valeurs seuil du rapport $C/N_T$

A supposer que la dégradation de la liaison de service soit celle indiquée au § 2.2.4 (voir la Recommandation UIT-R P.681), la valeur de la marge de la liaison de service devient  $M_s = 10$  dB (ce qui correspond à la valeur indiquée dans la Recommandation UIT-R M.1188). On admet que la marge de la liaison de connexion est égale à  $M_f = 3$  dB, valeur qui tient compte de toutes les dégradations de la porteuse décrites au § 2.2.2.

Il est également possible de partir du principe que la valeur du rapport  $(C/N_T)_f$  est supérieure de 10 dB à celle du rapport  $(C/N_T)_s$  dans des conditions nominales de ciel clair ( $K = 10$ ).

Si ces valeurs sont utilisées dans les équations (6) et (7), on obtient:

$$(C/N_T)_{s,th} = 7,09 \quad \text{dB} \quad \text{pour la liaison de service}$$

$$(C/N_T)_{f,th} = 24,09 \quad \text{dB} \quad \text{pour la liaison de connexion}$$

### 3.3 Objectifs d'indisponibilité et de seuil

Les objectifs d'indisponibilité et de seuil obtenus au moyen des équations précédentes peuvent être utilisés dans la pratique pour les liaisons de service et de connexion des systèmes du SMS non OSG employant la modulation MDP-4 pour le service téléphonique mobile par satellite. Ces objectifs sont les suivants:

$$(C/N_T)_{s,th} \leq 7,09 \quad \text{dB} \quad \text{pour un pourcentage de temps de 4,5\% au plus}$$

$$(C/N_T)_{f,th} \leq 24,09 \quad \text{dB} \quad \text{pour un pourcentage de plus de 0,5\% au plus}$$

### 3.4 Objectifs de qualité de fonctionnement

En conséquence, les objectifs de qualité de fonctionnement sont les suivants:

$$(C/N_T)_{s,th} \geq 7,09 \quad \text{dB} \quad \text{pendant plus de 95,5\% du temps}$$

$$(C/N_T)_{f,th} \geq 24,09 \quad \text{dB} \quad \text{pendant plus de 99,5\% du temps}$$

---