

## RECOMMANDATION UIT-R S.728-1\*

**Niveau maximal admissible de la densité  
de p.i.r.e. hors axe des microstations**

(1992-1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les réseaux à satellites géostationnaires du service fixe par satellite (SFS) exploitent les mêmes bandes de fréquences;
- b) que le brouillage entre réseaux du SFS contribue au bruit dans le réseau;
- c) qu'il faut protéger chaque réseau du SFS à satellites géostationnaires du brouillage provoqué par d'autres réseaux analogues;
- d) qu'il faut spécifier les niveaux maximaux admissibles de la densité de p.i.r.e. hors axe des microstations terriennes pour favoriser l'harmonisation entre réseaux à satellites géostationnaires;
- e) que les réseaux peuvent, dans le SFS, être brouillés au niveau du récepteur de la station spatiale;
- f) que l'emploi d'antennes présentant de bonnes caractéristiques hors axe permettra d'utiliser au mieux le spectre radioélectrique et l'orbite des satellites géostationnaires (OSG);
- g) que les progrès intervenus en matière d'antennes de microstations montrent que l'on peut facilement se procurer des antennes présentant des caractéristiques de lobes secondaires améliorées;
- h) qu'il est possible de limiter les niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe par le choix de l'antenne et (ou) des paramètres d'émission, par exemple en faisant appel à un système de correction d'erreur directe à gain élevé dans l'étage de démodulation, ou bien en utilisant la technique d'étalement du spectre;
- j) que certains réseaux de microstations utilisent le procédé d'accès multiple par répartition en code (AMRC) permettant à plusieurs microstations d'émettre simultanément dans le même canal,

*recommande*

**1** que les microstations terriennes fonctionnant dans la bande des 14 GHz utilisée par le SFS soient conçues de façon que la densité de p.i.r.e. émise en dehors de l'axe principal de leur antenne,

---

\* La Commission d'études 4 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44 (AR-2000).

dans toute direction comprise dans un angle de  $3^\circ$  de l'OSG, ne dépasse pas les valeurs ci-après pour tout écart angulaire  $\varphi$  spécifié ci-dessous:

<i>Ecart angulaire par rapport à l'axe principal</i>	<i>Densité maximale de p.i.r.e. par 40 kHz</i>
$2^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$33 - 25 \log \varphi$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	12 dBW
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$36 - 25 \log \varphi$ dBW
$\varphi > 48^\circ$	-6 dBW

De plus, la composante contrapolaire dans toute direction, à  $\varphi$  degrés de l'axe du lobe principal, ne devrait pas dépasser les limites suivantes:

<i>Ecart angulaire par rapport à l'axe principal</i>	<i>Densité maximale de p.i.r.e. par 40 kHz</i>
$2^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$23 - 25 \log \varphi$ dBW
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	2 dBW

2 que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la Recommandation:

NOTE 1 – Les valeurs maximales de densité de p.i.r.e. données au § 1 pourront devoir être réduites d'une valeur pouvant atteindre 8 dB dans les réseaux dont les satellites ont un espacement angulaire proche de  $2^\circ$ .

NOTE 2 – Pour les systèmes dont les stations terriennes sont prévues pour émettre simultanément dans la même bande de 40 kHz, par exemple ceux utilisant l'AMRC, les valeurs maximales de densité de p.i.r.e. indiquées au § 1 doivent être réduites de  $10 \log N$  (dB), où  $N$  est le nombre de stations terriennes devant émettre simultanément à la même fréquence.

NOTE 3 – Des Recommandations sont à l'étude pour les microstations fonctionnant dans la bande des 6 GHz et dans d'autres bandes. Il convient d'appliquer à ces bandes, à titre provisoire, la Recommandation UIT-R S.524.

NOTE 4 – Les valeurs indiquées dans le § 1 peuvent être dépassées dans la zone angulaire pour laquelle un système d'alimentation particulier peut provoquer des niveaux relativement élevés de débordement.

NOTE 5 – Les limites indiquées au § 1 pourraient être majorées, pour les très grandes zones de service, jusqu'aux limites de la Recommandation UIT-R S.524.

NOTE 6 – L'Annexe 1 décrit le calcul de la densité admissible de p.i.r.e. hors axe des microstations.

NOTE 7 – Les antennes de stations terriennes dont le rapport  $D/\lambda$  est inférieur à 50 ont en général des largeurs de faisceaux principaux qui dépassent un angle hors-axe de  $2^\circ$  à  $3^\circ$ . L'Annexe 2 contient des exemples d'ouverture angulaire de faisceaux principaux pour ce type d'antenne. Les limites de p.i.r.e. hors-axe pour les angles hors-axe faibles du § 1 peuvent être respectées en limitant la densité spectrale de puissance surfacique de ces antennes.

NOTE 8 – La présente Recommandation concerne la protection entre réseaux à satellites géostationnaires du SFS. Le brouillage entre systèmes à satellites géostationnaires et systèmes à satellites non géostationnaires fait l'objet d'autres Recommandations.

NOTE 9 – La révision du § 1 visant à abaisser l'angle hors-axe minimum de 2,5° à 2° s'applique aux stations terriennes mises en service après 1995 pour tous les réseaux à satellites géostationnaires.

## ANNEXE 1

### Calcul de la densité admissible de p.i.r.e. hors axe des microstations

#### 1 Bilan de bruit du système

Conformément à la Recommandation UIT-R S.523, qui traite du niveau maximal admissible du brouillage dans le cas d'une émission numérique par satellite, 20% du niveau total de la puissance de bruit à l'entrée du démodulateur sont admis pour le brouillage dû à d'autres réseaux dans les bandes de fréquences où le réseau fonctionne avec réutilisation des fréquences. De même, 6% du niveau total de la puissance de bruit sont admis pour le brouillage dû à une seule source.

Alors que les émissions hors axe des stations terriennes provoquent un brouillage de la liaison montante vers les satellites adjacents, les émissions de ces derniers provoquent un brouillage de la liaison descendante vers les stations terriennes de réception. Il convient donc de répartir encore entre les liaisons montante et descendante, la tolérance de 6% pour une source unique de brouillage. Le diamètre d'antenne de la station terrienne de réception aura une incidence sur cette répartition: plus il sera important, moins le brouillage sur la liaison descendante aura d'importance en raison de la meilleure isolation hors axe, alors que le brouillage sur la liaison montante augmentera car l'augmentation du facteur de qualité  $G/T$  de la station terrienne abaissera le niveau de bruit thermique total du système.

Pour déterminer la limite de p.i.r.e. hors axe des microstations, il convient d'admettre que l'antenne de la station terrienne de réception, dans le réseau brouillé, a un diamètre de 5 m environ. Dans ce cas, en présence du brouillage dû à une seule source, le bilan de bruit pourra être supposé inférieur à 1% sur la liaison descendante (compte tenu de la caractéristique de gain hors axe de l'antenne) et égal à 5% sur la liaison montante.

Le bilan de bruit total du système peut par ailleurs être réparti comme suit:

Bruit thermique (liaisons montante et descendante)	50%
Brouillage par d'autres réseaux à satellites	20% (Recommandation UIT-R S.523)
Brouillage par transpolarisation	5%
Bruit d'intermodulation dû au répéteur	25%

Le rapport de 5% à 50% pourra donc servir à comparer la densité de puissance du brouillage par source unique sur la liaison montante, avec la densité de bruit thermique.

## 2 Calcul du bruit thermique total du système

Pour calculer le bruit thermique total du système, il y a lieu de prendre en considération ses composantes sur la liaison montante comme sur la liaison descendante. On calculera comme suit le rapport porteuse sur densité de bruit sur la liaison montante  $(C/N_0)_U$ , le rapport porteuse sur densité de bruit sur la liaison descendante  $(C/N_0)_D$  et le rapport porteuse sur densité de bruit total  $(C/N_0)_T$ :

$$(C/N_0)_U = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_S + 228,6 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} (C/N_0)_D &= p.i.r.e.S - OBO - L_D - L_{DA} - L_{DR} + (G/T)_E + 228,6 \\ &= p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + G_S - L_D - L_{DA} + L_{DR} + (G/T)_E + 228,6 \end{aligned} \quad (2)$$

$$(C/N_0)_T = -10 \log (10^{-(C/N_0)_U/10} + 10^{-(C/N_0)_D/10}) \quad (3)$$

où:

$p.i.r.e.E$ :	p.i.r.e. de la station terrienne émettant le signal utile
$p.i.r.e.S$ :	p.i.r.e. du satellite au point de saturation
$L_U$ :	affaiblissement en espace libre sur la liaison montante
$L_D$ :	affaiblissement en espace libre sur la liaison descendante
$L_{UA}$ :	affaiblissement par temps clair sur la liaison montante
$L_{DA}$ :	affaiblissement par temps clair sur la liaison descendante
$L_{UR}$ :	évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante
$L_{DR}$ :	évanouissements dus à la pluie sur la liaison descendante
$(G/T)_S$ :	facteur de qualité du satellite
$(G/T)_E$ :	facteur de qualité de la station terrienne recevant le signal utile
$OBO$ :	recul de sortie du satellite
$G_S$ :	gain en petits signaux du répéteur

$$G_S = G_1 + (p.i.r.e.S - SFD) + (IBO - OBO) \quad (4)$$

où:

$SFD$ :	puissance surfacique de saturation du satellite
$IBO$ :	recul d'entrée du satellite
$G_1$ :	gain d'une antenne idéale de 1 m <sup>2</sup>
	$G_1 = 44,4$ dB à 14 GHz

Si le  $G/T$  équivalent de la station terrienne de réception est défini à l'entrée du satellite comme étant:

$$(G/T)_{EE} = G_S - L_D - L_{DA} - L_{DR} + (G/T)_E \quad (5)$$

et que le  $G/T$  équivalent total du satellite soit défini comme étant:

$$(G/T)_T = -10 \log (10^{-(G/T)_S/10} + 10^{-(G/T)_{EE}/10}) \quad (6)$$

on peut exprimer comme suit le rapport  $C/N_0$  sur la liaison descendante et le rapport  $C/N_0$  total:

$$(C/N_0)_D = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_{EE} + 228,6 \quad (7)$$

$$(C/N_0)_T = p.i.r.e.E - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_T + 228,6 \quad (8)$$

### 3 Calcul de la densité maximale admissible de p.i.r.e. hors axe

On admet que la densité de p.i.r.e. hors axe émise par la microstation brouilleuse est exprimée sous la forme:  $E - 25 \log \phi$  dB(W/40 kHz). Le rapport porteuse de liaison montante sur densité du signal brouilleur dans une largeur de bande de 40 kHz peut alors être exprimé comme suit:

$$C/I_0 = p.i.r.e.E - L_{UR} - (E - 25 \log \phi) \quad (9)$$

Il convient de relever l'hypothèse que seul le signal utile est affecté par les évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante. Dans ces conditions, on peut calculer le rapport brouillage sur bruit thermique dans la bande de 40 kHz comme suit:

$$\begin{aligned} I_0/N_0 &= (C/N_0)_T - C/I_0 - 10 \log B \\ &= (E - 25 \log \phi) - L_U - L_{UA} + (G/T)_T + 228,6 - 10 \log B \end{aligned} \quad (10)$$

où  $B$  est égal à 40 kHz.

Conformément à la description donnée au § 1 de cette Annexe, la valeur du rapport  $I_0/N_0$  devrait être inférieure à 5%/50% pour satisfaire aux critères de brouillage par source unique. La valeur maximale admissible de  $E$  peut alors être calculée comme suit:

$$E = I_0/N_0 + 25 \log \phi + L_U + L_{UA} - (G/T)_T - 228,6 + 10 \log B \quad (11)$$

Si la fréquence de la liaison montante est de 14 GHz:

$$E = 25 \log \phi - (G/T)_T + 14,5 + L_{UA} \quad (12)$$

Il convient de remarquer que les évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante n'ont pas d'incidence sur le rapport brouillage sur bruit. Il y a toutefois lieu de tenir compte de l'effet des évanouissements dus à la pluie sur la liaison descendante pour le calcul de  $(G/T)_T$  car le bilan de brouillage est défini comme étant la fraction de la puissance de bruit total qui donnerait un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-6}$ ; le système est habituellement conçu de telle manière que cette valeur du taux d'erreur binaire puisse être obtenue même en présence d'évanouissements dus à la pluie.

### 4 Calcul de la p.i.r.e. devant être émise par les microstations

On peut calculer le niveau admissible de  $E$  d'après les expressions données ci-dessus. Il convient toutefois de vérifier si les systèmes à microstations peuvent conserver leur qualité de fonctionnement dans ces conditions.

Si l'on admet que le gain d'antenne d'émission de la microstation terrienne est  $G_T$  et que la caractéristique des lobes secondaires de l'antenne puisse être exprimée par  $29 - 25 \log \phi$ , la p.i.r.e. de cette microstation,  $p.i.r.e.E$  peut être exprimée comme suit dans une largeur de 40 kHz:

$$p.i.r.e.E = E - 29 + G_T \quad (13)$$

A partir de l'équation (8), on peut donc calculer le rapport densité de puissance de porteuse sur densité de bruit thermique par l'expression ci-après:

$$(C_0/N_0)_T = E - 29 + G_T - L_U - L_{UA} - L_{UR} + (G/T)_T + 228,6 - 10 \log B \quad (14)$$

Comme cela est expliqué au § 1 de cette Annexe, on suppose que le bruit thermique représente 50% du bruit total. Si le rapport énergie nécessaire par bit sur densité de puissance du bruit est  $(E_b/N_0)_R$  et si le facteur de conversion pour passer de  $C_0/N_0$  à  $E_b/N_0$  est  $K$ , l'inégalité suivante devrait donc être satisfaite avec une marge de qualité globale de fonctionnement égale à  $M$  (dB):

$$(E_b/N_0)_R - K + M \leq (C_0/N_0)_T + 10 \log (50\%/100\%) \quad (15)$$

La valeur de  $K$  est la suivante, selon le type de modulation et le procédé de correction d'erreur directe (CED):

3 dB pour la MDP-2 avec une CED de rapport 1/2

1,3 dB pour la MDP-2 avec une CED de rapport 3/4

0 dB pour la MDP-4 avec une CED de rapport 1/2

-1,7 dB pour la MDP-4 avec une CED de rapport 3/4.

On peut calculer la valeur nécessaire de  $E$  d'après les expressions (14) et (15). Il y a lieu de noter que la valeur appropriée des évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante doit normalement être prise en compte, alors que ce n'est pas nécessaire pour la liaison descendante car leur effet est habituellement plus marqué dans le premier sens que dans le second.

## 5 Résultats numériques pour des systèmes à satellites courants

Les valeurs maximales et minimales admissibles de  $E$  sont calculées comme indiqué au Tableau 1 pour les systèmes à satellites courants. Les paramètres utilisés dans les hypothèses de calcul ont les valeurs données ci-dessous:

Diamètre d'antenne de station terrienne réceptrice	5	m
$G/T$ de station terrienne réceptrice par temps clair	31	dB
$G/T$ de station terrienne réceptrice par temps pluvieux	30	dB
Evanouissements dus à la pluie sur la liaison descendante	4	dB
Evanouissements dus à la pluie sur la liaison montante	3	dB
Affaiblissement par temps clair sur la liaison descendante	0,5	dB
Affaiblissement par temps clair sur la liaison montante	0,5	dB
Gain en petits signaux dans le satellite (IBO-OBO)	4	dB
Diamètre d'antenne de la microstation	1,2	m
Gain en émission de l'antenne de la microstation	42,7	dB
Rapport $E_b/N_0$ nécessaire avec une CED de rapport 1/2	6,4	dB
Rapport $E_b/N_0$ nécessaire avec une CED de rapport 3/4	7,4	dB
Marge de qualité globale de fonctionnement requise	1,5	dB

Pour définir l'angle par rapport à l'axe principal  $\varphi$ , on utilise l'angle topocentrique. On admet que les angles topocentriques ont une valeur de 1,1 fois les angles géocentriques et que les satellites sont à leur position nominale. Pour calculer l'affaiblissement en espace libre sur la liaison descendante, on utilisera les fréquences indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Valeurs minimales et maximales admissibles de  $E$ 

Système à satellite Région Fréquence de la liaison descendante (GHz)	GSTAR Etats-Unis d'Amérique 11,7	EUTELSAT-II Europe 12,5	INTELSAT-VI Faisceau-ouest 10,95	AUSSAT Australie 12,5
$G/T$ du satellite (dB(K <sup>-1</sup> ))	1,0	2,0	4,3	-1,0
SFD (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-85,0	-82,8	-81,3	-88,0
p.i.r.e. du satellite (dBW)	42,0	44,0	47,7	42,0
Gain du satellite en petits signaux (dB)	175,4	175,2	177,4	178,4
$G/T$ total équivalent (temps clair, liaison descendante)	-2,3	-2,4	0,6	-2,5
$G/T$ total équivalent (temps pluvieux, liaison descendante)	-5,7	-6,1	-3,0	-4,7
$E - 25 \log \varphi$ admissible	20,7	21,1	18,0	19,7
$E$ admissible ( $\varphi = 2,2$ )	29,3	29,7	26,6	28,2
$E$ admissible ( $\varphi = 3,3$ )	33,7	34,1	31,0	32,6
$E$ admissible ( $\varphi = 4,4$ )	36,8	37,2	34,1	35,8
$E$ minimale (MDP-2, CED 3/4)	27,3	27,4	24,4	27,5
$E$ minimale (MDP-2, CED 1/2)	24,6	24,7	21,7	24,8

Comme cela est indiqué dans ce Tableau, une valeur de  $E = 33$  (dB(W/40 kHz)) peut être appropriée lorsque les satellites sont espacés d'au moins  $3^\circ$ . Si l'espacement angulaire est de  $2^\circ$ , il faut utiliser une valeur inférieure de  $E$ , par exemple 25 dBW, bien que l'on puisse dans ce cas émettre en MDP-2 (modulation par inversion de phase) avec une CED de rapport de 1/2.

## ANNEXE 2

## Caractéristiques des nanostations

## 1 Introduction

La mise en orbite récente de stations spatiales à forte puissance d'émission rend possible le transfert vers les nanostations d'applications jusqu'ici réservées aux microstations. Cependant, comme les faisceaux principaux de ces nanostations sont larges, ils peuvent à l'émission dans le sens Terre-

espace déborder sur les stations spatiales géostationnaires adjacentes. Ainsi, les émissions sur les mêmes fréquences, avec les mêmes couvertures en provenance des stations spatiales adjacentes à la station spatiale considérée peuvent fortement brouiller les réseaux de nanostations. L'augmentation résultante des brouillages entre réseaux adjacents du SFS peut conduire à une diminution de la capacité de transmission de la ressource orbite des satellites géostationnaires-spectre. Il est donc nécessaire de limiter les risques de brouillage causé par les réseaux de nanostations, en particulier en limitant pour les liaisons montantes, les densités de p.i.r.e. hors-axe.

## 2 Taille des faisceaux d'antenne des nanostations

Le Tableau 2 représente l'accroissement des ouvertures des faisceaux principaux pour des antennes dont le rapport  $D/\lambda$  est inférieur à 50. Pour les antennes présentant un faible gain dans les lobes latéraux et un rendement de 60% environ (dotées pour cela de systèmes d'alimentation spéciaux), les valeurs d'ouverture du faisceau principal indiquées dans le Tableau 2 se situent plutôt dans la plage la plus élevée.

TABLEAU 2

### Demi-ouvertures hors-axe des faisceaux principaux

Fréquence (GHz)	$D/\lambda$	Diamètre d'antenne (m)	Demi-ouverture du faisceau principal (degrés) <sup>(1)</sup>
14	50	1,05	1,4-2,3
14	40	0,84	1,7-2,9
14	30	0,63	2,4-3,9

<sup>(1)</sup> Ces antennes sont des paraboloïdes de révolution ou des sections de paraboloïde. L'ouverture du faisceau principal dépend du type d'alimentation de l'antenne. Il convient de noter que la dernière colonne indique la demi-ouverture du faisceau principal, c'est-à-dire l'écart angulaire du premier franchissement du zéro de gain d'antenne.