

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R SF.675-4**  
(01/2012)

**Calcul de la densité maximale de puissance  
(moyennée sur 4 kHz ou 1 MHz) de  
porteuses à modulation angulaire et  
numériques**

**Série SF**

**Partage des fréquences et coordination entre  
les systèmes du service fixe par satellite  
et du service fixe**



## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	<b>Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe</b>
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2012

© UIT 2012

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R SF.675-4

**Calcul de la densité maximale de puissance (moyennée sur 4 kHz ou 1 MHz) de porteuses à modulation angulaire et numériques**

(1990-1992-1993-1994-2012)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit des méthodes de calcul de la densité maximale de puissance de divers types de porteuses moyennée sur 4 kHz ou 1 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les administrations sont invitées à préparer les renseignements énumérés dans les Appendices 3 et 4 du Règlement des radiocommunications (RR) aux fins de coordination et de notification;
- b) que la densité maximale de puissance par Hz à l'entrée de l'antenne est l'un des renseignements énumérés dans les Appendices 3 et 4 du RR;
- c) que, conformément à l'Appendice 4 du RR, la densité maximale de puissance par Hz d'une porteuse doit être moyennée sur la bande de 4 kHz la plus défavorable pour les fréquences inférieures à 15 GHz et sur la bande de 1 MHz la plus défavorable pour les fréquences supérieures à 15 GHz;
- d) qu'il est nécessaire de disposer de méthodes généralisées pour calculer la densité maximale de puissance d'une porteuse à modulation angulaire;
- e) que les porteuses de poursuite, télémessure et télécommande (TT&C) ont généralement des caractéristiques de modulation, et par conséquent des caractéristiques de densité spectrale, différentes de celles des autres types de porteuses,

*recommande*

- 1** d'utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 1 pour calculer la densité maximale de puissance, moyennée sur 4 kHz, de porteuses à modulation angulaire, numériques ou de poursuite, télémessure et télécommande (TT&C);
- 2** d'utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 2 pour calculer la densité maximale de puissance, moyennée sur 1 MHz, de porteuses numériques ou TT&C;
- 3** lors de la détermination de la densité spectrale maximale de puissance, en accord avec les autres administrations concernées, de respecter les objectifs de la Résolution 703 (Rév.CMR-07).

## Annexe 1

### Calcul de la densité maximale de puissance (moyennée sur 4 kHz) d'une porteuse à modulation angulaire

On trouvera ci-dessous la description de la méthode de calcul du niveau de puissance dans la bande de 4 kHz la plus défavorable (W/4 kHz). On obtient la densité de puissance par Hz demandée dans le RR en divisant cette valeur par 4 000.

#### 1 Porteuse modulée en fréquence (MF)

##### 1.1 Porteuse MF modulée par un signal de téléphonie multivoie

La densité spectrale maximale de puissance, lorsque la bande de base est à pleine charge, est déterminée par la porteuse résiduelle ou par les crêtes du spectre continu, selon la nature de la modulation.

La puissance de la porteuse résiduelle est donnée par l'expression:

$$P_t \cdot e^{-\psi_0} \quad W \quad (1)$$

où:

$$\psi_0 = \frac{m^2}{\varepsilon} \left[ C_0 + C_2 \cdot \varepsilon + \frac{C_4}{3} (\varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3) \right] \quad (2)$$

Dans l'expression (2),  $m$  est l'indice de modulation multivoie quadratique moyen et  $C_0$ ,  $C_2$  et  $C_4$  sont les coefficients caractérisant la préaccentuation utilisée qui est donnée par l'expression générale suivante:

$$p(f/f_h) = C_0 + C_2(f/f_h)^2 + C_4(f/f_h)^4 \quad (3)$$

Dans cette expression,  $f$  est la fréquence spécifique en bande de base prise en compte. Cette fréquence doit être exprimée dans la même unité que  $f_h$ . Pour  $\varepsilon \leq f/f_h \leq 1$ , une bonne approximation de la caractéristique de préaccentuation est donnée par l'expression:

$$p(f/f_h) = 0,4 + 1,35(f/f_h)^2 + 0,75(f/f_h)^4 \quad (4)$$

Par conséquent, pour un système avec préaccentuation, on a:

$$\psi_0 \approx \frac{m^2}{\varepsilon} (0,4 + 1,6 \varepsilon + 0,25 \varepsilon^2 + 0,25 \varepsilon^3) \quad (5)$$

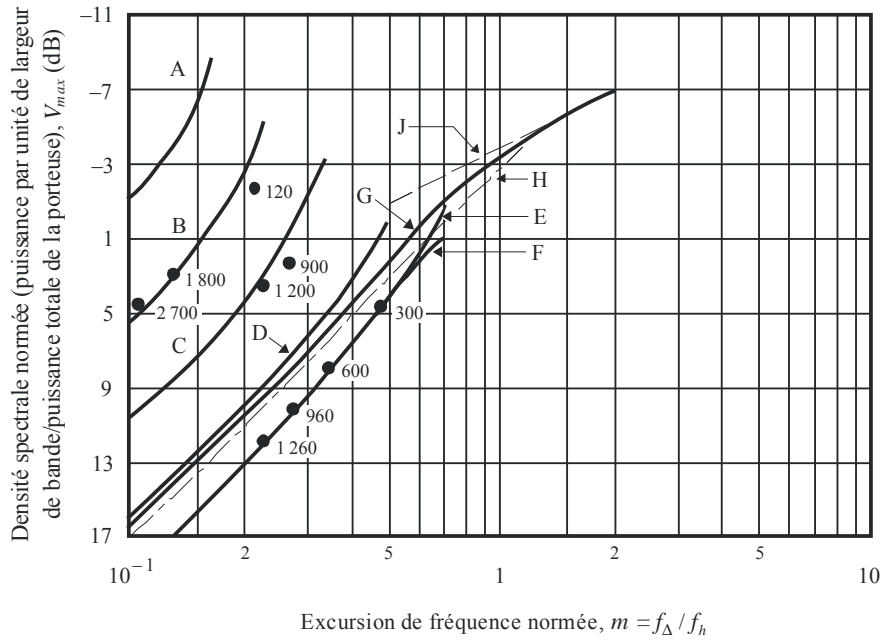
où  $m = f_\Delta / f_h$ .

NOTE 1 – Les administrations sont invitées à fournir des renseignements sur la forme du spectre et la valeur des coefficients utilisés dans les équations (2) et (3), aux fins de coordination détaillée.

On peut obtenir, à partir des Fig. 1 et 2, la valeur approchée de la densité spectrale maximale de puissance dans la partie continue du spectre.

FIGURE 1

Densité spectrale maximale d'un signal (partie continue du spectre) modulé en fréquence par un bruit gaussien



- Courbes A:  $\psi_0 = 0,1$
- B:  $\psi_0 = 0,2$
- C:  $\psi_0 = 0,4$
- D:  $\psi_0 = 1,0$
- E:  $\psi_0 = 2,0$
- F:  $\psi_0 = 4,0$
- G:  $\psi_0 = \infty$

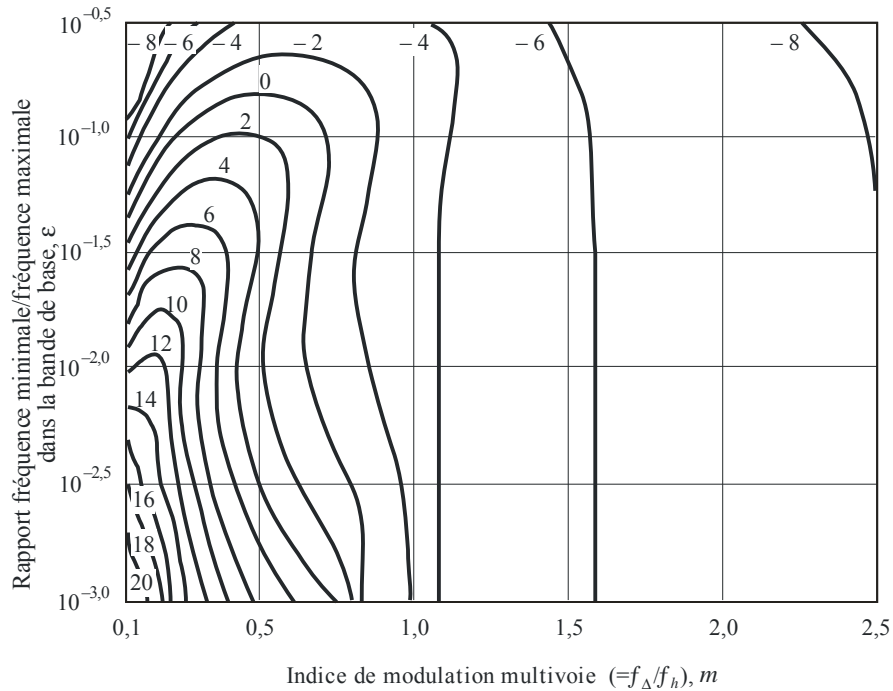
- Valeurs pour les réseaux de faisceaux hertziens normalisés (comme indiqué) correspondant aux limites de bandes de base suivantes:

120 voies	60-552 kHz
960 voies	60-4 028 kHz
1 260 voies	60-5 636 kHz

H: approximation d'une faible excursion  
 J: approximation d'une forte excursion

FIGURE 2

Courbe d'égalité de densité spectrale maximale  
( $V_{max}$ ) du signal MF-MRF



SF.0675-02

Dans les équations et sur les figures, les symboles ont les significations suivantes:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$f_\Delta$ : excursion multivoie, valeur quadratique moyenne (Hz)

$$f_\Delta \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{pour } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{pour } 240 > N_c \geq 60 \\ f_d \times 10^{(2,6+2 \log N_c)/20} & \text{pour } 60 > N_c \geq 12 \end{cases}$$

$$\text{ou } \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{pour } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{pour } 12 \leq N_c < 240 \end{cases}$$

$f_d$ : excursion quadratique moyenne du signal d'essai (Hz)

$N_c$ : nombre de voies

$f_h$ : fréquence la plus élevée de la bande de base (Hz)

$f_l$ : fréquence la plus basse de la bande de base (Hz)

$m$ : indice de modulation multivoie ( $= f_\Delta / f_h$ )

$$\epsilon = f_l / f_h$$

$$V_{max} = W_{max} f_h / P_t$$

$W_{max}$ : puissance spectrale maximale par unité de largeur de bande (W/Hz).

Dans le cas de porteuses où  $1 < N \leq 12$ , la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz est donnée approximativement par:



$$P_t \cos^2 \frac{m_b}{1,5} \quad \text{W/4 kHz} \quad \text{pour } m_b < 1 \quad (6)$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$m_b$ : indice de modulation de crête (rad) dû à une tonalité d'essai à 0 dBm dans la voie la plus élevée de la bande de base.

### 1.2 Porteuse MF modulée par un signal de téléphonie multivoie et un signal de dispersion d'énergie de forme d'onde triangulaire et d'amplitude fixe

Les systèmes de dispersion d'énergie à onde triangulaire sont normalement conçus de façon que la densité spectrale maximale de puissance dans une bande de 4 kHz centrée sur la fréquence de la porteuse soit maintenue, à 3 dB près, à la valeur qu'elle a en charge complète.

La densité spectrale de puissance centrée sur la fréquence porteuse est donnée par la formule:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (7)$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$\Delta F$ : excursion de fréquence crête-à-crête due au signal de dispersion d'énergie (Hz).

NOTE 1 – L'équation (7) suppose l'utilisation d'une onde de dispersion triangulaire parfaitement linéaire.

### 1.3 Porteuse MF modulée par un signal vidéo de télévision

– Dans le cas où un signal de dispersion d'énergie de forme d'onde triangulaire est superposé au signal vidéo, la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz dans le cas le plus défavorable est donnée par la formule:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (8)$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$\Delta F$ : excursion de fréquence crête-à-crête, due au signal de dispersion d'énergie (Hz).

NOTE 1 – L'équation (8) suppose l'utilisation d'une onde de dispersion triangulaire parfaitement linéaire. Pour les émissions courantes de télévision à modulation de fréquence, l'erreur qui découle de cette hypothèse est négligeable.

– Dans le cas où il n'y a pas de modulation ni vidéo ni par signal de dispersion d'énergie, la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz dans le cas le plus défavorable est donnée par:

$$P_t \quad \text{W/4 kHz}$$

## 2 Porteuse modulée en phase (MP) par un signal de téléphonie multivoie

Lorsque la fréquence supérieure de la bande de base d'un signal de téléphonie multivoie est beaucoup plus grande que la fréquence inférieure de la bande de base, la densité maximale de

puissance d'une porteuse modulée en phase (MP) par ce signal se trouve sur la fréquence centrale de la porteuse et est donnée par la formule suivante:

$$- \text{ pour } \beta\sigma_a \geq 2: \quad \frac{P_t}{(\beta\sigma_a)f_h} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (9)$$

- pour  $\beta\sigma_a < 2$ , la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz est la somme des deux termes suivants:

$$- \text{ spectre continu: } P_t \times S(0) \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (10)$$

$S(0)$  peut être tiré de la Fig. 3, qui donne les valeurs du rapport de la puissance totale de la porteuse à la densité de puissance dans une bande de largeur  $f_h$  (Hz)

$$- \text{ porteuse résiduelle: } P_t \exp \{ - (\beta\sigma_a)^2 \} \quad \text{W} \quad (11)$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$\beta\sigma_a$ : excursion de phase multivoie (rad)

$\beta$ : valeur efficace de l'excursion de phase de la tonalité d'essai (rad)

$\sigma_a$ : facteur de charge du signal de téléphonie multivoie

$$\sigma_a = \begin{cases} 10^{(-15+10 \log N)/20} & \text{pour } N \geq 240 \\ 10^{(-1+4 \log N)/20} & \text{pour } N < 240 \end{cases}$$

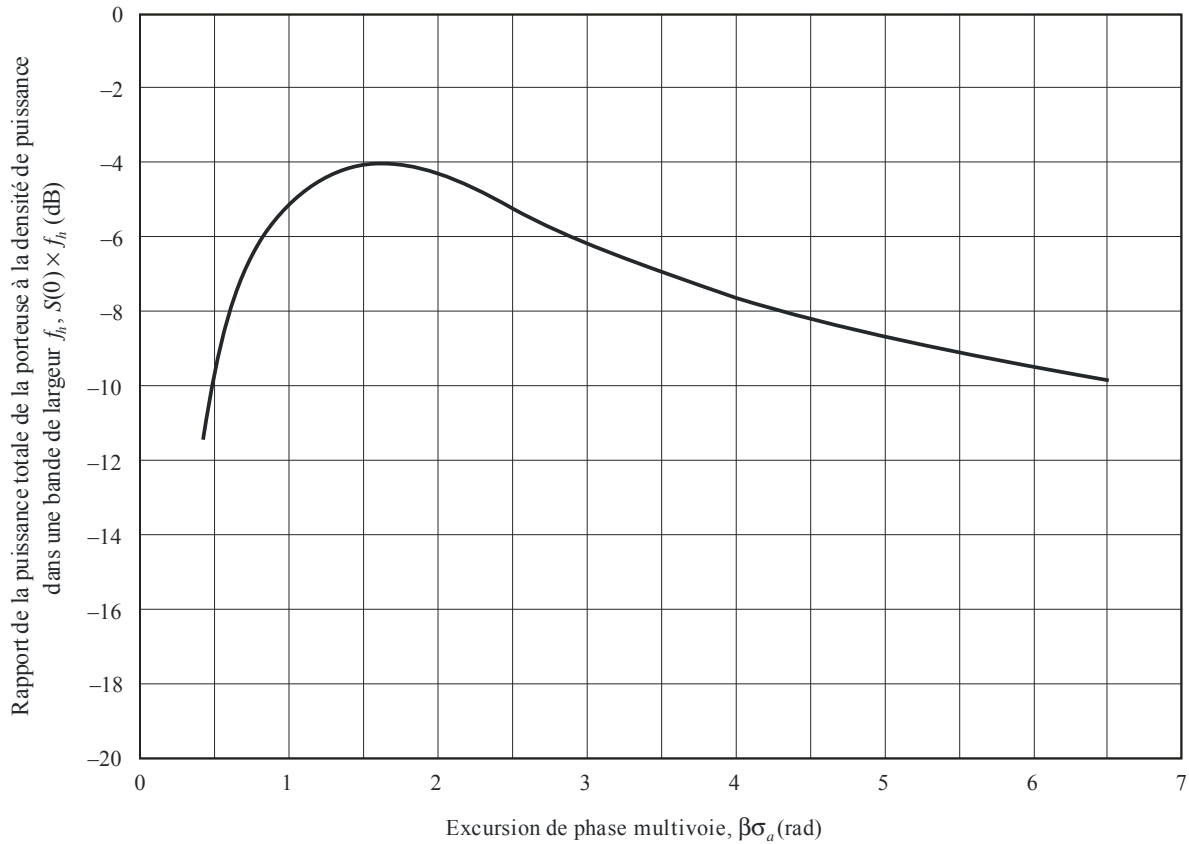
$N$ : nombre de voies

$f_h$ : fréquence la plus élevée de la bande de base (Hz).



FIGURE 3

Densité de puissance à la fréquence centrale du spectre de puissance continu d'une porteuse modulée en phase (MP) dans une bande de largeur  $f_b$



SF.0675-03

### 3 Porteuse numérique avec une largeur de bande nécessaire supérieure à 4 kHz

La densité maximale de puissance par Hz d'une porteuse numérique est donnée par:

$$P_o = P_t/B \tag{12}$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$B$ : largeur de bande nécessaire de l'émission numérique (Hz).

La densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz dans le cas le plus défavorable s'obtient en multipliant le résultat de l'expression (12) par  $4 \times 10^3$ :

$$P_{4\text{ kHz}} = P_o * 4 \times 10^3 \text{ (W/4 kHz)} \tag{13}$$

### 4 Porteuse numérique avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 4 kHz

Dans les cas où on a plusieurs porteuses identiques avec une largeur de bande inférieure à 4 kHz et où on sait qu'une bande quelconque de 4 kHz ne sera pas complètement remplie par ces porteuses, il convient d'appliquer la formule suivante:

$$P_{4\text{ kHz}} = (P_t * N) \text{ (W/4 kHz)} \tag{14}$$

où:

$P_t$ : puissance totale d'une seule porteuse (W)

$N$ : nombre maximal de porteuses, ou de parties de porteuses, avec une largeur de bande inférieure à 4 kHz qui occupent une bande quelconque de 4 kHz.

La formule (14) peut être généralisée au cas où on sait qu'une bande quelconque de 4 kHz sera occupée par différents types de porteuses avec des largeurs de bande inférieures à 4 kHz, en faisant la somme des puissances des divers types de porteuses qui occupent la bande de 4 kHz et en supposant que la puissance totale ainsi obtenue est la puissance dans une bande de 4 kHz.

## 5 Porteuse TT&C

Dans le cas de porteuses TT&C à bande étroite, exploitées dans le cadre du numéro 1.23 du RR, dans les bandes de fréquences inférieures à 15 GHz, il faut prendre certaines précautions pour évaluer la puissance maximale dans une bande de 4 kHz de ces porteuses. En effet, ces porteuses peuvent avoir plusieurs composantes spectrales distinctes et significatives. Il est donc important de tenir compte de la forme spectrale réelle de ces porteuses TT&C lors du choix de la largeur de bande de 4 kHz la plus défavorable pour évaluer la densité maximale de puissance.

## Annexe 2

### Calcul de la densité maximale de puissance (moyennée sur 1 MHz) d'une porteuse numérique ou TT&C

On trouvera ci-dessous la description de la méthode de calcul du niveau de puissance dans la bande de 1 MHz la plus défavorable (W/MHz).

#### 1 Porteuse numérique avec une largeur de bande nécessaire supérieure à 1 MHz

La densité maximale de puissance par Hz d'une porteuse numérique est donnée par:

$$P_o = P_t / B \quad (\text{W/Hz}) \quad (15)$$

où:

$P_t$ : puissance totale de la porteuse (W)

$B$ : largeur de bande nécessaire de l'émission numérique (Hz).

La densité maximale de puissance dans une bande de 1 MHz dans le cas le plus défavorable s'obtient en multipliant le résultat de l'expression (15) par  $1 \times 10^6$ :

$$P_{1 \text{ MHz}} = P_o * 1 \times 10^6 \quad (\text{W/MHz}) \quad (16)$$

#### 2 Porteuse numérique avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz

Il est à noter que pour les porteuses numériques avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz, il faut déterminer le nombre maximal de porteuses, et de parties de porteuses, qui seront exploitées dans une bande quelconque de 1 MHz. Lorsqu'on ne connaît pas ce nombre maximal de porteuses, on supposera que la largeur de bande de référence de 1 MHz est remplie de plusieurs porteuses identiques. Avec cette hypothèse, les formules (15) et (16) permettent d'évaluer la densité maximale de puissance dans une bande de 1 MHz dans le cas le plus défavorable. Dans les cas où on a des porteuses avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz et où on sait qu'une

bande quelconque de 1 MHz ne sera pas complètement remplie par plusieurs porteuses identiques, il convient d'appliquer la formule suivante pour calculer la densité maximale de puissance dans une bande de 1 MHz:

$$P_{1 \text{ MHz}} = (P_t * N) \text{ (W/MHz)} \quad (17)$$

où:

- $P_t$ : puissance totale d'une seule porteuse (W)
- $N$ : nombre maximal de porteuses, ou de parties de porteuses, avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz qui occupent une bande quelconque de 1 MHz.

La formule (17) peut être généralisée au cas où on sait qu'une bande quelconque de 1 MHz sera occupée par différents types de porteuses avec des largeurs de bande nécessaires inférieures à 1 MHz, en faisant la somme des puissances des divers types de porteuses qui occupent la bande de 1 MHz et en supposant que la puissance totale ainsi obtenue est la puissance dans une bande de 1 MHz.

### 3 Porteuse TT&C

Dans le cas de porteuses TT&C à bande étroite, exploitées dans le cadre du numéro 1.23 du RR, le calcul de la densité maximale de puissance dans une bande de MHz peut conduire à une surestimation de la puissance brouilleuse potentielle. En effet, le fait de multiplier la puissance d'une seule porteuse TT&C par un facteur correspondant au rapport entre sa largeur de bande et 1 MHz se traduirait par un niveau de puissance supérieur à celui de la porteuse TT&C proprement dite lorsqu'une seule porteuse TT&C avec une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz est utilisée pour une assignation de fréquence donnée. En pareil cas, le risque de brouillage causé par une porteuse TT&C sera évalué avec davantage de précision si on reconnaît que, dans la plupart des cas, une seule porteuse TT&C est transmise dans une bande quelconque de 1 MHz.

La densité maximale de puissance dans une bande de 1 MHz d'une porteuse TT&C ayant une largeur de bande nécessaire inférieure à 1 MHz est alors donnée par:

$$P_t \text{ (W/MHz)} \quad (18)$$

où:

- $P_t$ : puissance totale de la porteuse TT&C (W).

Dans le cas d'une porteuse TT&C ayant une largeur de bande nécessaire supérieure à 1 MHz, mais inférieure à 1,5 MHz, la densité maximale de puissance dans une bande de 1 MHz est donnée par:

$$P_t \times (1 \times 10^6 / B) \text{ (W/MHz)} \quad (19)$$

où:

- $P_t$ : puissance totale de la porteuse TT&C (W)
- $B$ : largeur de bande nécessaire de l'émission TT&C qui est supérieure à 1 MHz (Hz).