

RECOMMANDATION UIT-R SM.853-1*

LARGEUR DE BANDE NÉCESSAIRE

(1992-1997)

Domaine d'application

La présente Recommandation fournit les formules de calcul de la largeur de bande nécessaire.

Mots clés

Largeur de bande nécessaire, modulation de fréquence, modulation numérique, excursion par voie, formules de calcul de la largeur de bande

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le concept de «largeur de bande nécessaire» ainsi qu'il est défini au numéro **146** (1.152) du Règlement des radiocommunications est utile pour déterminer, de la manière la plus simple possible, les caractéristiques spectrales d'une émission donnée ou d'une classe d'émission;
- b) que, dans l'optique d'une utilisation efficace du spectre des fréquences radioélectriques, les largeurs de bande nécessaires aux différentes classes d'émission doivent être connues, que, dans certains cas, les formules énumérées dans la Recommandation UIT-R SM.1138 ne peuvent servir que de lignes directrices et que la largeur de bande nécessaire à certaines classes d'émission doit être évaluée en fonction d'une norme d'émission et d'une qualité requise spécifiées;
- c) que l'évolution des technologies est à l'origine d'ajouts et de variations dans les modulations utilisées pour les radiocommunications;
- d) que les paramètres numériques utilisés dans les formules de calcul des largeurs de bande nécessaires peuvent changer du fait de variations dans les caractéristiques des signaux (par exemple, niveau de la puissance moyenne pour la personne qui parle),

recommande

que l'on remplace les formules de calcul des largeurs de bande nécessaires figurant dans la Recommandation UIT-R SM.1138, par les formules suivantes:

1 Emissions multivoies MRF-MF (multiplexage par répartition en fréquence – modulation de fréquence)

Afin de pouvoir tenir compte des éventuels changements qui, avec le temps, pourraient toucher le niveau de la puissance moyenne pour la personne qui parle, la formule retenue pour le calcul de la largeur de bande B_n nécessaire aux émissions multivoies MRF-MF est la suivante:

$$B_n = 2M + 2 \left[d \times 3,76 \times \text{antilog} \left(\frac{X + Y \log N_c}{20} \right) K \right]$$

où:

M : fréquence de modulation maximale (Hz)

d : excursion par voie

N_c : nombre de voies dans la charge de message multiplexée

K : unité

$X = -2$ à $+2,6$ pour $12 \leq N_c < 60$ et pour $Y = 2$

$X = -5,6$ à $-1,0$ pour $60 \leq N_c < 240$ et pour $Y = 4$

* La Commission d'études 1 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2018 et en 2019, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

$X = -19,6$ à $-15,0$ pour $N_c \geq 240$ et pour $Y = 10$.

Le terme entre crochets est l'excursion de crête D . Le numérateur ($X + Y \log N_c$) de la fraction représente la puissance moyenne du signal composite à l'entrée du modulateur de l'émetteur.

Les fondements de cette formule figurent au § 1 de l'Annexe 1. Celle-ci indique notamment comment déterminer la valeur appropriée de la variable X dans la formule.

2 Emissions par impulsions non modulées

Le Tableau 1 donne la largeur de bande nécessaire dans les cas d'impulsions non modulées, rectangulaires ou trapézoïdales.

TABLEAU 1
Emissions par impulsions non modulées

Description de l'émission	Largeur de bande nécessaire		Désignation de l'émission
	Formule	Exemples de calcul	
Emission en impulsions non modulées	<p>Cas 1:</p> $B_n = \frac{1,79}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ Hz}$ <p>à 20 dB au-dessous de la valeur de crête de l'enveloppe du spectre d'une impulsion trapézoïdale</p>	<p>$t = 3 \times 10^{-6} \text{ s}$ $t_r = 0,06675 \times 10^{-6} \text{ s}$</p> <p>Largeur de bande: $4 \times 10^6 \text{ Hz}$</p>	4M00P0N
	<p>Cas 2:</p> $B_n = 1,27 \sqrt{\frac{\frac{1}{t_r} + \frac{1}{t_f}}{t}}$ <p>à 20 dB au-dessous de la valeur de crête de l'enveloppe du spectre d'une impulsion trapézoïdale dissymétrique</p>	<p>$t = 3 \times 10^{-6} \text{ s}$ $t_r = 0,06675 \times 10^{-6} \text{ s}$ $t_f = 0,167 \times 10^{-6} \text{ s}$</p> <p>Largeur de bande: $3,36 \times 10^6 \text{ Hz}$</p>	3M36P0N
	<p>Cas 3:</p> $B_n = \frac{6,36}{t} \text{ Hz}$ <p>à 20 dB au-dessous de la valeur de crête de l'enveloppe du spectre d'une impulsion rectangulaire (idéale)</p>	<p>$t = 1,41 \times 10^{-6} \text{ s}$ $B_n = 4,5 \times 10^6 \text{ Hz}$</p>	4M50P0N

La méthode utilisée pour déterminer la largeur de bande nécessaire pour des impulsions non modulées est donnée dans l'Annexe 2.

3 Modulation numérique

Dans le Tableau 2 figurent la largeur de bande nécessaire et un certain nombre de valeurs de K données à titre d'exemple pour plusieurs modulations numériques.

Les méthodes utilisées pour déterminer les largeurs de bande nécessaires en cas de modulation numérique sont données dans l'Annexe 3.

TABLEAU 2
Modulation numérique

Modulation et conditions	Formule pour la détermination de la largeur de bande nécessaire	Valeur de K donnée à titre d'exemple	Pourcentage de confinement dans la largeur de bande ⁽¹⁾
MDP-2 (non filtrée) $S = 2$ (calculée)	$B_n = \frac{2 RK}{\log_2 S}$	10,28 2,0	99 95
MDP-2 (filtrée, TEB = 1×10^{-3}) $S = 2$ (calculée)	$B_n = \frac{2 RK}{\log_2 S}$	1,0 ⁽²⁾ 0,75 ⁽³⁾	100 100
MDM (non filtrée) $S = 2$ (calculée) $D = 0,25 R$	$B_n = \frac{R}{\log_2 S} + 2 DK$	0,36 3,52	99 99,9
MDM avec filtrage gaussien (MDMG) Largeur de bande à 3 dB du filtre gaussien de prémodulation = $0,25 R$ $S = 2$ (calculée) $D = 0,25 R$	$B_n = \frac{R}{\log_2 S} + 2 DK$	-0,28 0,18	99 99,9
MF numérique (MDF à phase continue) impulsions rectangulaires $S = 2$ (calculée) $D = 0,35 R$	$B_n = \frac{R}{\log_2 S} + 2 DK$	0,89	99
MAQ- m Hyperfréquence à modulation numérique $S = 2^n$ ($n \geq 2$) Pente: 0 à 1 Ventilation à 50% entre émission et réception avec filtrage optimal (calculé) ^{(4), (5)}	$B_n = \frac{2 RK}{\log_2 S}$	Voir la Fig. 1	Voir la Fig. 1

MAQ: modulation d'amplitude en quadrature

MDF: modulation par déplacement de fréquence

MDM: modulation par déplacement minimal

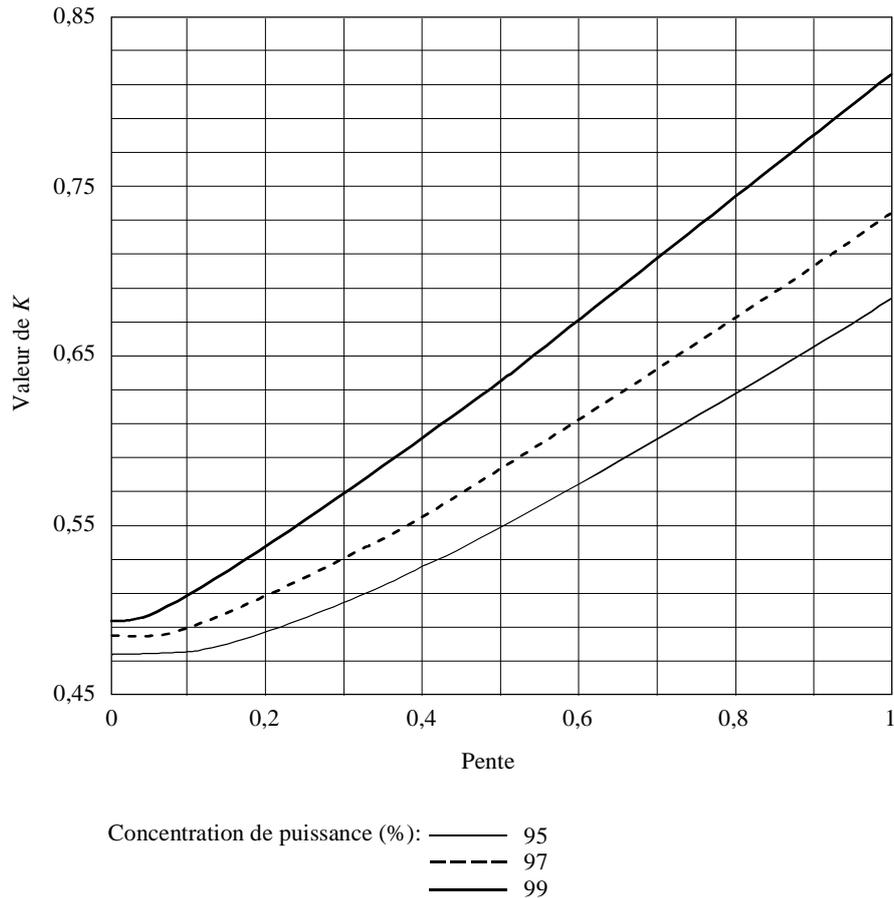
MDP: modulation par déplacement de phase

TEB: taux d'erreur binaire.

- (1) Il est prévu, dans la Recommandation UIT-R F.1191, que pour le service fixe à modulation numérique, la largeur de bande nécessaire soit définie pour un pourcentage de concentration de la puissance égal à 99%.
- (2) Dans ce cas $E_b/N_0 = 7,5$ dB.
- (3) Dans ce cas $E_b/N_0 = 9,3$ dB.
- (4) Dans la pratique, le filtrage peut produire une légère différence de la valeur de K en fonction de la relation de concentration calculée.
- (5) Les formats MAQ-4 et MAQ-8 coïncident avec les formats MDP-4 et MDP-8 filtrés.

FIGURE 1

Valeur de K en fonction de la pente pour formats de modulation MAQ- m
 Paramètres: facteur de concentration de puissance



0853-01

ANNEXE 1

Calculs des largeurs de bande nécessaires pour les émissions multivoies MRF-MF

1 Emissions multivoies MRF-MF

La Recommandation UIT-R SM.1138 «Détermination des largeurs de bande nécessaires, exemples de calculs de la largeur de bande nécessaire et exemples connexes de désignation des émissions» indique, au Tableau III-B de l'Annexe 1, les facteurs de multiplication à utiliser pour calculer l'excursion de fréquence de crête dans les émissions multivoies MRF-MF. L'excursion de fréquence de crête est un facteur critique dans la règle de Carson $B_n = 2M + 2DK$, qui est utilisée pour calculer la largeur de bande nécessaire aux fins d'attribution du spectre des fréquences. Le Tableau III-B est reproduit ci-après en tant que Tableau 3.

Dans ce Tableau, les facteurs 2,6, -1 et -15 qui représentent les valeurs de puissance moyenne (dBm0 (voir la Note 1)), ont été mesurés sur un circuit du réseau public téléphonique commercial à commutation. Les valeurs sont en fait fondées sur des mesures du «volume pour la personne qui parle» effectuées en 1960 et déjà approuvées par l'ex-CCIR et aussi lors de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications, Genève, 1979, aux fins du calcul des largeurs de bande nécessaires.

NOTE 1 – «dBm0» désigne la puissance (dB) par rapport à 1 mW rapporté à un point de niveau de transmission relatif zéro.

TABLEAU 3
Emissions multivoies MRF-MF

FACTEURS DE MULTIPLICATION À UTILISER POUR CALCULER D , EXCURSION DE FRÉQUENCE DE CRÊTE, DANS LES ÉMISSIONS MULTIVOIES À MODULATION DE FRÉQUENCE ET MULTIPLEXAGE PAR RÉPARTITION EN FRÉQUENCE (MF-MRF)	
<p>Pour les systèmes MF-MRF, la largeur de bande nécessaire est:</p> $B_n = 2M + 2DK$ <p>On calcule la valeur de D, ou excursion de fréquence de crête dans les formules pour B_n en multipliant la valeur efficace d'excursion par voie par le «facteur multiplicatif» approprié indiqué ci-dessous.</p> <p>Dans le cas où une onde pilote de continuité de fréquence f_p est présente au-dessus de la fréquence maximale de modulation M, la formule générale prend la forme suivante:</p> $B_n = 2f_p + 2DK$ <p>Dans le cas où l'indice de modulation de la porteuse principale produit par l'onde pilote est inférieur à 0,25 et où la valeur efficace de l'excursion de fréquence de la porteuse principale produite par l'onde pilote est inférieure ou égale à 70% de la valeur efficace de l'excursion par voie, la formule générale prend celle des deux formes ci-après qui donne la valeur la plus grande:</p> $B_n = 2f_p \quad \text{ou} \quad B_n = 2M + 2DK$	
Nombre de voies téléphoniques N_c	Facteur multiplicatif ⁽¹⁾
	$(\text{Facteur de crête}) \times \text{antilog} \left[\frac{\text{valeur en dB au-dessus du niveau de modulation de référence}}{20} \right]$
$3 < N_c < 12$	$4,47 \times \text{antilog} \left[\frac{\text{une valeur en dB spécifiée par le constructeur de l'équipement ou par l'exploitant de la station, sous réserve de l'approbation de l'administration}}{20} \right]$
$12 \leq N_c < 60$	$3,76 \times \text{antilog} \left[\frac{2,6 + 2 \log N_c}{20} \right]$
$60 \leq N_c < 240$	$3,76 \times \text{antilog} \left[\frac{-1 + 4 \log N_c}{20} \right]$
$N_c \geq 240$	$3,76 \times \text{antilog} \left[\frac{-15 + 10 \log N_c}{20} \right]$

⁽¹⁾ Dans ce Tableau, les facteurs multiplicatifs 3,76 et 4,47 correspondent respectivement à des facteurs de crête de 11,5 dB et 13,0 dB.

Entre 1975 et 1976, d'autres mesures portant sur la puissance du signal vocal ont été effectuées sur les mêmes circuits et les mêmes réseaux, en utilisant une méthodologie similaire, de manière à permettre une comparaison directe des résultats aux travaux antérieurs. Les dernières mesures ont été étudiées à la fois dans les secteurs de l'industrie et du gouvernement, depuis cette époque, conduisant finalement à des modifications d'applications domestiques typiques sur les réseaux téléphoniques publics avec commutation.

Pour résumer l'étude de 1975-1976, qui indiquait les raisons pour lesquelles il existait des différences par rapport à l'étude antérieure, on a constaté que des changements considérables se sont accumulés pour se traduire par une diminution moyenne d'environ 4,6 dB du niveau de la puissance moyenne pour la personne qui parle. Ces changements ont contribué à augmenter l'uniformité du service dans les réseaux publics à commutation, du point de vue des volumes de conversation. Parmi ces changements, on peut signaler une diminution de la proportion de systèmes interurbains à batteries, des améliorations du plan d'affaiblissement, l'utilisation d'appareils téléphoniques plus perfectionnés et une augmentation de la répartition directe. La numérotation automatique est devenue de pratique courante avec les nouvelles techniques appliquées à la conception des lignes d'abonnés et des circuits de jonction. Par ailleurs, une technique améliorée pour l'acquisition numérique des données a facilité la mesure (en 1975-1976) de la puissance du signal vocal avec une précision meilleure que celle de 1960 lorsqu'on utilisait des vumètres pour cette étude. Par rapport aux mesures effectuées en 1960, l'écart type de toutes les mesures effectuées en 1975-1976 a été réduit en moyenne d'environ 1/3, passant de 7 à 4,6 unités de volume. On a utilisé un plan d'échantillonnage statistique à plusieurs étapes (extrémité rapprochée et extrémité éloignée) pour mesurer la puissance pour la personne qui parle sur plus de 10 000 appels provenant d'environ 2 500 lignes d'abonnés. La puissance moyenne du signal de conversation (moyenne établie sur l'ensemble de la période d'observation) et une nouvelle mesure du niveau de la parole appelé niveau équivalent de crête (EPL) ont été utilisées pour caractériser les signaux pour la personne qui parle. Le courant continu de la boucle, la catégorie de service, le type du commutateur et la destination de l'appel ont été enregistrés en tant que partie de l'étude de 1975-1976.

NOTE 2 – L'unité de volume est un moyen de mesurer le niveau de la parole avec un indicateur de niveau de puissance étalonné en dB pour une tension sinusoïdale uniforme, avec une référence de 1 mW sur 600 Ω. La réponse de l'indicateur n'est pas pondérée en fréquence. Les lectures sur vumètres sont des moyennes obtenues grâce à un ensemble particulier de caractéristiques balistiques (mécaniques) de l'appareil de mesure.

L'étude ultérieure a montré qu'avec des systèmes du réseau public à commutation (1975 et 1976), la puissance du signal vocal dépendait peu de la destination de l'appel ou de la classe de service d'origine (résidence, affaires, local, interurbain et combiné). Les légères différences étaient pour la plupart expliquées par des caractéristiques de la ligne d'abonné. Il existe peu de variation (sinon aucune) dans la puissance du signal vocal qui soit attribuée, selon les conclusions de l'étude, à des facteurs psychologiques tels que la distance de l'appel ou la perception du volume reçu. Les valeurs moyennes mesurées montrent que le réseau de télécommunications à commutation en 1975-1976 était essentiellement transparent aux abonnés en ce sens que la puissance du signal pour la personne qui parle ne dépendait pas de la distance de l'appel, de la classe de l'appel (local ou interurbain) ou d'autres facteurs indépendants des conditions de la boucle locale. En résumé, on estime que les dernières mesures du niveau pour la personne qui parle montrent les mêmes niveaux de conversation normaux que pour les sujets qui n'utilisent pas le téléphone. En conclusion, on prévoit qu'à l'avenir il y aura peu de changements dans le niveau représentatif pour la personne qui parle dans le réseau téléphonique public à commutation qui a fait l'objet des mesures. Par conséquent, on devrait tenir compte de ce fait dans un examen des formules permettant d'obtenir les largeurs de bande nécessaires pour les systèmes MRF-MF lorsque la téléphonie utilise une partie importante du circuit MRF-MF total.

Dans la formule de B_n , telle qu'elle est représentée au Tableau 3, les trois facteurs 2,6, -1 et -15 sont des composantes du facteur de multiplication utilisées pour déterminer D , c'est-à-dire l'excursion de fréquence de crête. Les conséquences pratiques d'une réduction de la puissance pour la personne qui parle dans le circuit téléphonique alimentant un circuit radioélectrique MRF-MF se traduisent par une diminution de l'excursion de crête. Il existe trois paramètres indépendants qui déterminent l'excursion de crête du signal MF: ils sont tous limités par la conception du système, la valeur maximale de chacun de ces paramètres est aussi limitée de manière que D ne dépasse pas une valeur prédéterminée (dans les systèmes MRF-MF). Ces paramètres sont les suivants:

- valeur efficace de l'excursion par voie,
- puissance moyenne dans une voie de message,
- nombre total de voies dans la charge de message multiplexée.

Si la puissance moyenne des signaux vocaux peut être réduite, comme l'a montré l'étude de 1975-1976, un compromis pourrait être établi avec les deux autres paramètres et ce de la manière suivante:

- en augmentant le nombre de voies tout en maintenant la même largeur de bande nécessaire,
- en augmentant l'efficacité d'utilisation du spectre par réduction de la largeur de bande tout en maintenant le même nombre de voies,
- en combinant ces deux méthodes.

Par exemple, dans les systèmes utilisant des voies de message de qualité téléphonique à 4 kHz, on peut faire varier le rapport trafic de données/trafic téléphonique. Un utilisateur peut choisir de se maintenir dans la bande RF spécifiée et alors prendre un niveau moyen de puissance de voie de message qui sera utilisé pour obtenir un compromis entre l'accroissement du nombre de voies de message et l'excursion de fréquence de chacune d'elles. Pour un rapport trafic de données/trafic téléphonique fixé, un utilisateur peut considérer qu'une augmentation trop importante du nombre de voies

de message à 4 kHz réduirait l'excursion par canal au point de dégrader la qualité du signal. Cependant, on peut choisir un niveau moyen de puissance de voie de message tel qu'il maintient la largeur de bande RF spécifiée et qui permet une certaine augmentation du nombre de voies de message tout en autorisant un accroissement proportionnel de l'excursion de fréquence de chaque voie. Grâce à cette méthode, au lieu d'utiliser tout le spectre disponible pour accroître au maximum le nombre des voies de message, il est possible d'obtenir une augmentation de l'excursion de fréquence de chaque voie, cette augmentation améliorant le rapport signal/bruit et réduisant probablement le taux d'erreur binaire dans le trafic de données.

On peut concevoir un système hyperfréquence dans lequel on donne au paramètre de niveau moyen de puissance de voie de message une valeur comprise entre celle utilisée dans les équations actuelles et une valeur qui lui est inférieure de 4,6 dB. Lorsque l'on diminue le niveau moyen de puissance de voie de message, on a des raisons valables pour modifier (c'est-à-dire augmenter) les autres paramètres. Cependant, une telle décision est du ressort des exploitants ou des gouvernements concernés qui doivent tenir compte des avantages et des inconvénients des compromis possibles.

Le point important à considérer ici est la reconnaissance du changement du niveau moyen de la puissance pour la personne qui parle. Pour tenir compte de la diminution de 4,6 dB de la puissance moyenne pour la personne qui parle dans les circuits téléphoniques. Typiquement les valeurs 2,6, -1 et -15 sont remplacées par la variable X qui peut être comprise entre les valeurs actuelles et des valeurs correspondantes de 4,6 dB inférieures, selon le nombre total de circuits du système MRF-MF et la composition du système proprement dit.

Ainsi la largeur de bande nécessaire B_n s'écrit comme suit:

$$B_n = 2M + 2 \left[d \times 3,76 \times \text{antilog} \left(\frac{X + Y \log N_c}{20} \right) K \right]$$

où:

M : fréquence de modulation maximale (Hz)

d : excursion par voie

N_c : nombre de voies dans la charge de message multiplexée

K : unité

$X = -2$ à $+2,6$ pour $12 \leq N_c < 60$ et pour $Y = 2$

$X = -5,6$ à $-1,0$ pour $60 \leq N_c < 240$ et pour $Y = 4$

$X = -19,6$ à $-15,0$ pour $N_c \geq 240$ et pour $Y = 10$.

Le terme entre crochets est l'excursion de crête D . Le numérateur ($X + Y \log N_c$) de la fraction représente la puissance moyenne du signal composite à l'entrée du modulateur de l'émetteur. La valeur de 3,76, telle qu'indiquée au Tableau 3, correspond à un facteur de crête de 11,5 dB.

Pour choisir correctement une valeur pour X dans la formule de B_n , il est utile de résumer des conditions dans lesquelles cette valeur est utilisée dans un système MRF-MF. Le choix définitif dans la gamme des 4,6 dB peut être empirique. Il est clair d'après les détails de l'étude que les niveaux moyens de puissance pour la personne qui parle de -2, -5,6 et -19,6 dBm0 doivent remplacer les nombres correspondants pour $N_c \geq 12$ dans la formule donnant B_n , avec un système MRF-MF utilisé pour les circuits téléphoniques publics commerciaux modernes dans lesquels la plupart des voies MRF-MF sont en fait des voies téléphoniques.

Dans des systèmes MRF-MF plus petits, privés ou plus anciens, en particulier ceux dans lesquels $N_c < 12$ ou ceux qui contiennent des données (non téléphoniques) dans la plupart des voies, les valeurs originelles telles qu'indiquées dans le Tableau 3, s'appliquent nominalement. Les circuits de données multivoies typiques fonctionnent à des niveaux de puissance compris entre -13 et -15 dBm0. Ainsi, la limite de charge composite sera déterminée par l'utilisation de la valeur $X = -13$ à -15 pour les systèmes ayant un grand pourcentage de circuits de données pour $N \geq 240$. La signalisation sur voie associée, par opposition à la signalisation sur voie commune, est une indication que le niveau de -15 dBm0 est applicable (système avec $N_c \geq 240$).

Comme indiqué ci-dessus, le choix, dans la gamme des 4,6 dB, du niveau de puissance du signal dépend largement de l'expérience. La bande de fréquences proprement dite n'est pas liée au choix des paramètres relatifs à la puissance pour la personne qui parle. On a constaté à titre d'exemple de l'application pratique des nouveaux paramètres, que la capacité d'un système de faisceaux hertziens du service fixe de Terre, fixée à la conception du matériel à 1 500 voies seulement, passait à 1 800 voies, ce qui représente un progrès important en matière d'efficacité d'utilisation du spectre.

ANNEXE 2

Calculs des largeurs de bande nécessaires pour les émissions par impulsions non modulées

La largeur de bande nécessaire dans les cas communs d'impulsions non modulées, rectangulaires ou trapézoïdales, est spécifiée. Une valeur de -20 dB par rapport au niveau de crête sur l'enveloppe théorique du spectre est le critère utilisé afin d'établir la largeur de bande nécessaire à ces impulsions. Pour celles-ci, les valeurs de l'enveloppe du spectre ont été déterminées à l'aide de méthodes de calcul simples.

Le Tableau 1 récapitule les largeurs de bande nécessaires calculées pour des impulsions non modulées. Dans le cas 1 (impulsion trapézoïdale), la durée de l'impulsion, t , est le temps qui s'écoule entre les points à mi-amplitude et t_r (temps d'établissement du front avant) est le temps qui s'écoule entre les points à 10% et à 90% d'amplitude. Le temps d'établissement du front arrière, t_f , est égal au temps d'établissement du front avant t_r . Dans le cas 2, le temps de montée du front avant, t_r , n'est pas toujours égal au temps de descente du front arrière, t_f . Ce dernier est le temps qui s'écoule entre les points à 90% et 10% d'amplitude. Dans le cas 3 (impulsion rectangulaire), t est la durée de l'impulsion.

ANNEXE 3

Calculs des largeurs de bande nécessaires en modulation numérique

Les formules établies pour la détermination des largeurs de bande nécessaires dans le cas de modulations de données numériques (voir la Recommandation UIT-R SM.1138) contiennent un facteur K qui rend compte des compromis auxquels on a consenti lors de la conception d'un système. Les décisions relatives à ces compromis portent généralement sur la puissance du système, sa largeur de bande et ses caractéristiques de qualité (taux d'erreur binaire). Par exemple, lorsqu'on utilise des niveaux de modulation élevés, dans le cas de systèmes numériques à visibilité directe, on préfère employer une puissance élevée plutôt qu'une grande largeur de bande. Les modulations numériques à niveau élevé telles que les modulations MAQ-16, MAQ-64 et MAQ-256 peuvent transférer pour une valeur donnée de bandes de spectre de fréquences, davantage de bit/s que les modulations numériques à faible niveau, mais elles nécessitent davantage de puissance (c'est-à-dire un rapport porteuse/bruit plus élevé). Inversement, dans les systèmes à satellites où la puissance à bord est limitée, on préfère employer un spectre plus étendu et une puissance moins forte et l'on utilise de faibles niveaux de modulation. Les signaux numériques nécessitent souvent un filtrage important pour satisfaire aux spécifications de protection des canaux adjacents.

Le filtrage des signaux numériques peut s'effectuer en tant que filtrage de prémodulation du signal à l'émetteur dans la bande de base ou bien en un ou plusieurs autres points à l'intérieur de l'émetteur ou du récepteur. En compensation de l'adjonction de ce filtrage, on accroît le rapport porteuse/bruit, C/N , du système. Les valeurs numériques du facteur K dépendent de la grandeur et de la forme de la caractéristique de sélectivité du filtre. Les caractéristiques des filtres sont définies cas par cas. Ainsi, il n'est ni pratique, ni profitable d'incorporer dans les formules permettant de déterminer les largeurs de bande nécessaires, des valeurs numériques uniques pour K .

Dans le Tableau 2 figurent un certain nombre de valeurs de K données à titre d'exemple pour plusieurs modulations numériques. Les valeurs de K correspondent soit à des valeurs de spectres de fréquences calculées, soit à des valeurs de spectres de fréquences mesurées. Le Tableau 2 contient les formules pour la détermination des largeurs de bande nécessaires utilisées, la valeur de K et d'autres paramètres comme la puissance, le rapport E_b/N_0 et le TEB. La formule pour la détermination de la largeur de bande B_n nécessaire dans le cas de MF numérique provient de la Recommandation UIT-R SM.1138. R est le débit binaire, S est le nombre d'états de signalisation et D est l'excursion de fréquence. La formule pour la détermination de la largeur de bande nécessaire dans le cas de la MDP est établie à partir du principe que cette largeur de bande devra être un multiple du débit numérique en ligne.

Les modulations MDM, MDMG et MF numérique sont des exemples d'une classe des modulations qui sont à amplitude constante et à phase continue. Ces signaux à phase continue peuvent être considérés comme une modulation à la fois de phase et de fréquence. Chacune des formules permettant la détermination de la largeur de bande nécessaire (fréquence ou phase) pourra être employée pour cette classe de modulation. Etant donné que ces signaux sont caractérisés par un indice de modulation ($2D/R$), la formule pour la détermination de la largeur de bande dans le cas de la MDF a été employée pour ces signaux dans le Tableau 2. De même, pour la modulation MAQ, on emploie la formule pour la détermination de la largeur de bande dans le cas de la MDP. La raison d'être en est que les signaux MAQ- m se composent d'une somme statistique de $m/2$ signaux MDP-2 avec des amplitudes de signal différentes, un débit de $(R/\log_2 m)$ et le même filtrage.