



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.692

(10/98)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Caractéristiques des supports de transmission –
Caractéristiques des composants et sous-systèmes
optiques

**Interfaces optiques pour systèmes multicanaux
avec amplificateurs optiques**

Recommandation UIT-T G.692

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.699
SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES	
EQUIPEMENTS TERMINAUX	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

RECOMMANDATION UIT-T G.692

INTERFACES OPTIQUES POUR SYSTÈMES MULTICANAUX AVEC AMPLIFICATEURS OPTIQUES

Résumé

La présente Recommandation spécifie des interfaces de systèmes de ligne optiques multicanaux en vue d'assurer une future compatibilité transversale parmi ces systèmes.

La présente Recommandation définit des paramètres d'interface pour des systèmes à quatre, huit et seize canaux fonctionnant à des débits allant jusqu'à STM-16 sur des fibres telles que celles qui sont décrites dans les Recommandations G.652, G.653 et G.655 avec des longueurs nominales de tronçon de 80 km, 120 km et 160 km et des distances cibles entre régénérateurs allant jusqu'à 640 km. Une grille de fréquence ancrée à 193,1 THz avec des espacements entre canaux valant des multiples entiers de 50 et de 100 GHz est spécifiée comme base pour la sélection des fréquences centrales des canaux.

Source

La Recommandation UIT-T G.692, élaborée par la Commission d'études 15 (1997-2000) de l'UIT-T, a été approuvée le 23 octobre 1998 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 1999

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application.....	1
2	Références normatives	1
3	Terminologie	2
4	Abréviations	3
5	Classification des interfaces optiques.....	3
5.1	Applications	3
5.1.1	Codes d'application pour les systèmes sans amplificateur de ligne	4
5.1.2	Codes d'application pour systèmes avec amplificateurs de ligne.....	4
5.2	Implémentation.....	5
5.2.1	Configurations de référence	5
5.2.2	Implémentation du canal de surveillance optique.....	7
6	Définition des paramètres.....	7
6.1	Sortie de chacun des émetteurs	7
6.1.1	Caractéristiques spectrales	7
6.1.2	Puissance injectée moyenne.....	7
6.1.3	Taux d'extinction.....	8
6.1.4	Gabarit du diagramme de l'œil	8
6.1.5	Fréquence centrale.....	8
6.1.6	Espacement des canaux.....	8
6.1.7	Ecart par rapport à la fréquence centrale.....	8
6.2	Port d'entrée de chacun des canaux	9
6.3	Interfaces optiques aux points MPI-S et S'.....	9
6.3.1	Diaphonie du côté émission optique	9
6.3.2	Puissance de sortie par canal.....	9
6.3.3	Puissance injectée totale.....	9
6.3.4	Rapport signal sur bruit optique d'un canal.....	9
6.3.5	Différence maximale de puissance par canal au point MPI-S ou au point S'	9
6.4	Trajet optique	9
6.4.1	Affaiblissement	9
6.4.2	Dispersion	10
6.4.3	Réflexions	10
6.5	Paramètres des amplificateurs optiques de ligne.....	10
6.5.1	Variation du gain multicanal.....	10
6.5.2	Pente du gain multicanal	10
6.5.3	Variation différentielle du gain multicanal	11
6.5.4	Puissance reçue totale	11

	Page
6.5.5	Puissance injectée totale..... 11
6.5.6	Facteur de bruit spontané du signal..... 11
6.6	Interfaces optiques aux points MPI-R et R'..... 11
6.6.1	Puissance d'entrée moyenne par canal..... 11
6.6.2	Puissance d'entrée totale moyenne..... 11
6.6.3	Rapport signal sur bruit optique d'un canal..... 11
6.6.4	Diaphonie optique aux points MPI-R et R'..... 11
6.6.5	Différence maximale de puissance par canal au point MPI-R ou au point R'..... 11
6.7	Port de sortie de chacun des canaux..... 11
6.7.1	Diaphonie optique aux ports de sortie des canaux..... 11
6.8	Entrée de chacun des récepteurs..... 12
6.8.1	Sensibilité d'un récepteur..... 12
6.8.2	Saturation d'un récepteur..... 12
6.8.3	Pénalité liée au trajet optique..... 12
6.8.4	Réflectance d'un récepteur..... 12
6.8.5	Rapport signal sur bruit optique..... 12
6.8.6	Plage de longueurs d'onde d'un récepteur..... 12
6.9	Paramètres relatifs au canal de surveillance optique..... 12
6.9.1	Longueur d'onde du canal de surveillance optique..... 12
7	Valeurs des paramètres aux interfaces optiques..... 13
	Annexe A – Fréquences centrales nominales..... 14
	Annexe B – Différentes approches relatives aux canaux de surveillance optiques..... 17
B.1	Canal OSC à 1480 nm..... 17
B.2	Canal OSC dans la bande des 1310 nm..... 17
B.3	Canal OSC dans la largeur de bande de gain de l'amplificateur EDFA..... 17
	Appendice I – Méthodologie relative à la détermination des niveaux de puissance optique .. 18
I.1	Puissance par canal..... 18
I.1.1	Puissance minimale par canal..... 18
I.1.2	Puissance maximale par canal..... 19
I.1.3	Plage maximale de puissance par canal..... 20
I.2	Puissance totale maximale..... 20
	Appendice II – Choix de l'espacement minimal des canaux et de la fréquence de référence de grille pour le plan de multiplexage en longueur d'onde..... 20
II.1	Espacement de 100 GHz et référence à 193,10 THz..... 20

	Page	
II.2	Référence de fréquence absolue.....	21
II.2.1	Précision de la référence de fréquence absolue.....	21
II.2.2	Stabilité de la référence de fréquence absolue	21
Appendice III	– Fréquences de canaux proposées pour les applications sur des fibres G.652/G.655	21
Appendice IV	– Fréquences de canaux proposées pour les applications sur des fibres G.653	23
Appendice V	– Méthodologie d'attribution de canaux fondée sur un espacement irrégulier des canaux pour les applications sur des fibres G.653	25
V.1	Détermination de fréquences de canaux espacées irrégulièrement	25
V.1.1	Conditions de mise en œuvre de base	25
V.1.2	Détermination de l'intervalle de fréquence.....	26
V.1.3	Largeur de bande optique requise pour l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement	28
V.2	Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquence de 25 GHz	28
V.3	Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquence de 50 GHz	29
V.4	Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquences de 100 GHz	29
V.5	Incidence de l'espacement irrégulier sur les autres paramètres.....	29
V.5.1	Ecart par rapport à la fréquence centrale pour un espacement irrégulier avec décalage de fréquence	29
V.5.2	Niveaux de puissance.....	30
V.6	Bibliographie.....	30
Appendice VI	– Préégalisation au point MPI-S.....	30
Appendice VII	– Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde.....	31
Appendice VIII	– Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure les systèmes à 16, 32 canaux ou plus	32
Appendice IX	– Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure le débit STM-64	33

Recommandation G.692

INTERFACES OPTIQUES POUR SYSTÈMES MULTICANAUX AVEC AMPLIFICATEURS OPTIQUES

(Genève, 1998)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation s'applique aux interfaces optiques de systèmes de ligne optiques multicanaux avec amplificateurs optiques pour les applications de Terre longue distance. Elle donne la définition et les valeurs de paramètres d'interface optique pour des systèmes interétablissements et longue distance avec des distances cibles allant jusqu'à 160 km sans amplificateur de ligne et jusqu'à 640 km avec des amplificateurs optiques de ligne. La description des configurations de référence des systèmes et de leurs blocs fonctionnels constitutifs figure dans la Recommandation G.681.

La présente Recommandation vise à fournir des spécifications relatives aux amplificateurs optiques pour des équipements d'amplification optique et SDH en vue de pouvoir réaliser dans le futur des systèmes multicanaux compatibles transversalement. Toutes les spécifications nécessaires à la réalisation de systèmes entièrement compatibles transversalement ne peuvent être mises au point au stade actuel d'élaboration de la présente Recommandation. Toutefois, compte tenu de l'intérêt manifesté par les industriels et des implémentations qui se font jour, cette version initiale est publiée. La spécification complète sera donnée dans de futures versions de la présente Recommandation.

La présente Recommandation s'applique principalement aux systèmes multicanaux point à point. Les questions spécifiques relatives à l'insertion/extraction optique ne sont pas prises en considération.

La présente Recommandation vise à décrire les systèmes de ligne optiques comportant les caractéristiques suivantes:

- nombre maximal de canaux: 4, 8, 16, 32 ou plus;
- types de canaux acheminant les signaux: STM-4, STM-16 ou STM-64;
- transmission sur une fibre individuelle: unidirectionnelle ou bidirectionnelle.

Etant donné l'évolution des techniques et des marchés, certains éléments des caractéristiques décrites ci-dessus ne sont pas complètement caractérisés à l'heure actuelle et sont indiqués comme appelant un complément d'étude. Certains aspects des systèmes à 16 et 32 canaux, la transmission STM-64 et éventuellement la transmission bidirectionnelle appellent un complément d'étude. Certains éléments concernant la transmission bidirectionnelle, les systèmes à 16 et 32 canaux et la transmission STM-64 sont donnés respectivement dans les Appendices VII, VIII et IX.

La présente Recommandation a été élaborée sur la base de l'expérience acquise avec des amplificateurs à fibre de silice dopée à l'erbium (EDFA), fonctionnant au voisinage de 1550 nm. On ne cherche pas à exclure de la présente Recommandation d'autres amplificateurs optiques fonctionnant au voisinage de longueurs d'onde différentes, y compris au voisinage de 1310 nm.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui de ce fait en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si

possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée.

- Recommandation UIT-T G.652 (1997), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.653 (1997), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée.*
- Recommandation UIT-T G.655 (1996), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- Recommandation UIT-T G.661 (1998), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux amplificateurs à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.662 (1998), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.663 (1996), *Aspects relatifs à l'application des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs à fibre optique.*
- Recommandation UIT-T G.671 (1996), *Caractéristiques de transmission des composants optiques passifs.*
- Recommandation UIT-T G.681 (1996), *Caractéristiques fonctionnelles des jonctions urbaines et interurbaines utilisant des amplificateurs optiques, y compris le multiplexage optique.*
- Recommandation UIT-T G.707 (1996), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.783 (1997), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.955 (1996), *Systèmes de ligne numérique des hiérarchies à 1544 kbit/s et à 2048 kbit/s sur câbles à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.957 (1995), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- CEI Publication 60825-1 (1993), *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur.*
- CEI Publication 61291-4 Ed. 1.0 (à l'état de projet), *Formulaire de la spécification de fonctionnement des amplificateurs optiques – Partie 4: Amplificateurs à fibres optiques pour les applications multicanals.*

3 Terminologie

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 canal de surveillance optique (OSC, *optical supervisory channel*): canal auquel on accède à chaque site d'amplification optique en ligne et qui est utilisé à des fins de maintenance, notamment pour la télésignalisation des alarmes, pour la communication nécessaire concernant la localisation des pannes et pour les communications de service. Le canal de surveillance optique n'est pas utilisé pour acheminer le trafic utile.

3.2 trajet principal (optique): ligne optique entre le point MPI-S de l'équipement émetteur et le point MPI-R de l'équipement récepteur. Le trajet principal ne comprend pas de trajet auxiliaire.

3.3 interfaces de trajet principal: interfaces avec la ligne optique spécifiées dans la présente Recommandation.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

AFR	référence de fréquence absolue (<i>absolute frequency reference</i>)
ASE	émission spontanée amplifiée (<i>amplified spontaneous emission</i>)
BER	taux d'erreur binaire (<i>bit-error ratio</i>)
EDFA	amplificateur à fibre dopée à l'erbium (<i>erbium-doped fibre amplifier</i>)
FWM	mélange de quatre ondes (<i>four-wave mixing</i>)
MPI	brouillage par trajets multiples (<i>multiple path interference</i>)
MPI-R	interface sur le trajet principal au niveau du récepteur (<i>main path interface at the receiver</i>)
MPI-S	interface sur le trajet principal au niveau de l'émetteur (<i>main path interface at the transmitter</i>)
NF	facteur de bruit (<i>noise figure</i>)
OA	amplificateur optique (<i>optical amplifier</i>)
OD	démultiplexeur optique (<i>optical demultiplexer</i>)
OEO	convertisseur optique-électrique-optique (<i>optical-electrical-optical converter</i>)
OM	multiplexeur optique (<i>optical multiplexer</i>)
OSC	canal de surveillance optique (<i>optical supervisory channel</i>)
OSNR	rapport signal sur bruit optique (<i>optical signal-to-noise ratio</i>)
PMD	dispersion des modes de polarisation (<i>polarisation mode dispersion</i>)
RX	récepteur optique (<i>optical receiver</i>)
SBS	diffusion Brillouin stimulée (<i>stimulated Brillouin scattering</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SNR	rapport signal sur bruit (<i>signal-to-noise ratio</i>)
SPM	auto-modulation de phase (<i>self phase modulation</i>)
STM-N	module de transport synchrone de niveau N (<i>synchronous transport module level N</i>)
TX	émetteur optique (<i>optical transmitter</i>)
WDM	multiplexage en longueur d'onde (<i>wavelength division multiplexing</i>)
XPM	transmodulation de phase (<i>cross-phase modulation</i>)

5 Classification des interfaces optiques

5.1 Applications

La présente Recommandation porte sur les systèmes multicanaux pour les applications de Terre longue distance avec une distance cible totale et un espacement des amplificateurs décrits ci-dessous.

5.1.1 Codes d'application pour les systèmes sans amplificateur de ligne

Ces systèmes sont constitués de 4, 8 ou 16 canaux optiques qui sont multiplexés ensemble sur le plan optique. Chaque canal peut être de type STM-4 ou STM-16 et il est possible d'avoir un mélange simultané de canaux à différents débits. Les distances cibles nominales associées à ces systèmes sont de 80 km, 120 km et 160 km sur des fibres G.652, G.653 et G.655. Les codes d'application relatifs aux fibres G.653 appellent un complément d'étude. Les codes d'application pour les systèmes sans amplificateur de ligne sont récapitulés dans le Tableau 1.

Les codes d'application donnés dans le Tableau 1 sont construits de la manière suivante:

- $nWx-y.z$

où, pour chaque code d'application:

- n est le nombre maximal de longueurs d'onde;
- W est une lettre indiquant la longueur d'un tronçon, à savoir:
 - L indique un long tronçon;
 - V indique un très long tronçon;
 - U indique un ultra-long tronçon;
- x est le nombre maximal de tronçons autorisés pour le code d'application concerné ($x = 1$ pour les systèmes sans amplificateur de ligne. Dans ce cas, ce nombre n'apparaît pas.);
- y est le débit maximal (niveau STM) des signaux pour une longueur d'onde donnée;
- z est le type de fibre, à savoir:
 - 2 indique une fibre G.652;
 - 3 indique une fibre G.653;
 - 5 indique une fibre G.655.

On indique la présence d'un système bidirectionnel en ajoutant la lettre B au début du code d'application:

- $B-nWx-y.z$

Tableau 1/G.692 – Codes d'application pour systèmes multicanaux sans amplificateur de ligne

Application	Longue distance (distance cible 80 km)	Très longue distance (distance cible 120 km)	Ultra longue distance (distance cible 160 km)
Systèmes à 4 canaux	4L-y.z	4V-y.z	4U-y.z
Systèmes à 8 canaux	8L-y.z	8V-y.z	8U-y.z
Systèmes à 16 canaux	16L-y.z	16V-y.z	16U-y.z ^{d)}
^{a)} Les distances cibles ne doivent être utilisées que pour la classification et non pour la spécification. ^{b)} $y = 4$ ou 16 . ^{c)} $z = 2, 3$ ou 5 . ^{d)} La possibilité de mettre en service le code d'application appelle un complément d'étude.			

5.1.2 Codes d'application pour systèmes avec amplificateurs de ligne

Ces systèmes sont également constitués de 4, 8, ou 16 canaux optiques optiquement multiplexés. Les espacements cibles nominaux entre amplificateurs optiques de ligne sont de 80 km et 120 km avec des distances cibles totales nominales de 360 km à 640 km sur des fibres G.652, G.653 et G.655

avant qu'une régénération ne s'impose. Afin de limiter les combinaisons possibles de ces distances, on ne considère que celles qui sont indiquées dans le Tableau 2.

Les codes d'application pour systèmes avec amplificateurs de ligne sont récapitulés dans le Tableau 2.

Tableau 2/G.692 – Codes d'application pour systèmes multicanaux avec amplificateurs de ligne

Application	Tronçons longs (longueur cible: 80 km par tronçon)		Tronçons très longs (longueur cible: 120 km par tronçon)	
	5	8	3	5
Nombre de tronçons	5	8	3	5
Systèmes à 4 canaux	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
Systèmes à 8 canaux	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z ^{a)}
Systèmes à 16 canaux	16L5-y.z	16L8-y.z	16V3-y.z	16V5-y.z ^{a)}
^{a)} La possibilité de mettre en œuvre ce code d'application appelle un complément d'étude. ^{b)} Les distances cibles ne doivent être utilisées que pour la classification et non pour la spécification. ^{c)} y = 4 ou 16. ^{d)} z = 2, 3, 5.				

Les systèmes de type nL5 et nV3 ne constituent pas un sous-ensemble des systèmes nL8 et nV5, respectivement, car les systèmes nL8 et nV5 nécessitent des techniques différentes (amplificateurs optiques à plus faible bruit, caractéristiques de dispersion plus strictes, etc.) dont la mise en œuvre peut être beaucoup plus exigeante et n'est pas nécessairement possible pour tous les types de fibre.

Les codes d'application sont fondés sur des débits de canal allant jusqu'à STM-16 pour chaque canal. Pour les systèmes à débit plus élevé, par exemple STM-64, il sera nécessaire de réévaluer les codes d'application. Les valeurs exactes appellent un complément d'étude.

Il convient de noter par exemple qu'il est impossible de faire évoluer un système à 4 canaux vers un système à 8 canaux. Cette option n'existe que pour les systèmes à 8 canaux sous-équipés. Autrement dit, si des opérateurs choisissent par exemple l'option permettant de mettre à niveau un système à 4 canaux en un système à 8 canaux, ils doivent se conformer aux spécifications relatives à un système à 8 canaux non seulement pour le choix de l'écart par rapport à la fréquence centrale mais aussi pour le choix de tous les autres paramètres appropriés.

5.2 Implémentation

5.2.1 Configurations de référence

La Figure 1 illustre la configuration de référence pour un système G.692 comprenant n canaux et les points de référence suivants:

- $S_1 \dots S_n$ sont des points de référence sur la fibre optique situés au niveau des connecteurs optiques de sortie des émetteurs pour les canaux 1 ... n respectivement;
- $R_{M1} \dots R_{Mn}$ sont des points de référence sur la fibre optique situés juste avant les connecteurs optiques d'entrée du multiplexeur optique/amplificateur optique (OM/OA) pour les canaux 1 ... n respectivement;
- MPI-S est un point de référence sur la fibre optique situé juste après le connecteur optique de sortie du multiplexeur optique/amplificateur optique (OM/OA);

- S' est un point de référence situé juste après le connecteur optique de sortie de l'amplificateur optique (OA) de ligne;
- R' est un point de référence sur la fibre optique situé juste avant le connecteur optique d'entrée de l'amplificateur optique (OA) de ligne;
- MPI-R est un point de référence sur la fibre optique situé juste avant le connecteur optique d'entrée de l'amplificateur optique/démultiplexeur optique (OA/OD);
- S_{D1} ... S_{Dn} sont des points de référence situés au niveau des connecteurs optiques de sortie de l'amplificateur optique/démultiplexeur optique (OA/OD);
- R₁ ... R_n sont des points de référence situés à l'entrée des connecteurs optiques des récepteurs.

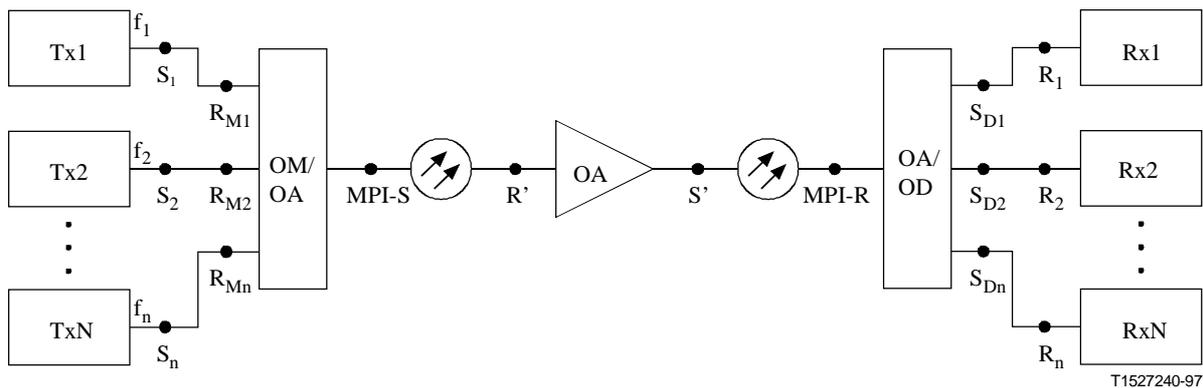


Figure 1/G.692 – Représentation des interfaces de systèmes de ligne optiques

NOTE 1 – L'affaiblissement de l'hybride de canal de surveillance optique éventuellement utilisé pour accéder au canal de surveillance optique ne fait pas partie du bilan de puissance sur le trajet optique.

NOTE 2 – Lorsqu'on combine un émetteur G.957 conforme et un répéteur optique (voir la Figure 2) pour réaliser l'émetteur optique G.692, les points de référence S_n, tels qu'ils sont définis dans la présente Recommandation, sont situés juste après les connecteurs optiques de sortie du répéteur optique. Dans ce cas, l'interface entre l'émetteur G.957 conforme et le répéteur est choisie de manière appropriée à partir de l'ensemble des spécifications données pour le point S dans la Recommandation G.957.

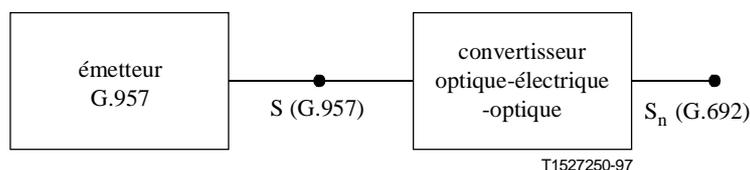


Figure 2/G.692 – Implémentation possible d'un émetteur G.692 au moyen d'un émetteur G.957 conforme et d'un répéteur

La présente Recommandation spécifie la possibilité d'un affaiblissement entre les points de référence S_n et R_{Mn}. La valeur minimale de cet affaiblissement est 0. De même, il peut y avoir un affaiblissement entre les points S_{Dn} et R_n. Il est également possible que le multiplexeur optique/amplificateur optique (OM/OA) ou l'amplificateur optique/démultiplexeur optique (OA/OD) ne contienne pas d'amplificateur optique. En outre, il est possible que les émetteurs et le multiplexeur

optique/amplificateur optique (et de même l'amplificateur optique/démultiplexeur optique et les récepteurs) soient intégrés, auquel cas il n'y aura pas d'accès aux interfaces aux points de référence S_n , R_{Mn} , S_{Dn} et R_n .

5.2.2 Implémentation du canal de surveillance optique

Les systèmes de ligne optiques décrits dans la présente Recommandation utilisant des amplificateurs de ligne nécessitent un canal de surveillance optique supplémentaire (OSC). On doit pouvoir accéder à ce canal à chaque amplificateur. Pour les amplificateurs optiques de ligne réalisés sur la base de la technique d'amplification à fibre dopée à l'erbium (EDFA), le canal de surveillance optique peut être situé soit en dehors de la largeur de bande de gain utilisable de l'amplificateur EDFA ("canal OSC hors bande") soit à l'intérieur de cette largeur de bande ("canal OSC dans la bande"). Il existe des compromis de conception associés à chacun de ces choix possibles. Le sous-paragraphe B.3 de l'Annexe B indique l'option de canal OSC dans la bande.

La longueur d'onde nominale préférée pour le canal OSC hors bande est de 1510 nm. La disponibilité des composants pour la longueur d'onde 1510 nm (par exemple diodes laser, filtres, etc.) est actuellement limitée. En attendant que ces composants soient mures et disponibles, il est possible d'utiliser d'autres longueurs d'onde (1480 nm ou une longueur d'onde dans la bande des 1310 nm). Ces différentes possibilités relatives au canal OSC sont décrites aux sous-paragraphe B.1 et B.2.

Si l'on choisit une longueur d'onde dans la bande des 1310 nm, il est possible qu'on ne puisse pas utiliser cette bande pour un autre trafic. Deux amplificateurs fonctionnant à des longueurs d'onde de canal OSC différentes ne seront généralement pas compatibles transversalement.

6 Définition des paramètres

Les paramètres applicables à la présente Recommandation sont énumérés. Un grand nombre de ces paramètres sont définis dans la Recommandation G.957 et pour ces paramètres, le lecteur est invité à se reporter à la Recommandation G.957 pour leur définition. Outre l'indication du renvoi aux définitions de la Recommandation G.957, on donne d'autres renseignements relatifs aux systèmes multicanaux.

Les paramètres indiqués aux 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3 et 6.8.3 suffisent pour définir des systèmes multicanaux compatibles longitudinalement pour chaque type de fibre optique (G.652, G.653, G.655) et pour les codes d'application envisagés dans la présente Recommandation. Toutefois, conformément à l'objectif de la présente Recommandation, tous les paramètres définis au paragraphe 6 sont nécessaires pour que les systèmes soient compatibles transversalement.

6.1 Sortie de chacun des émetteurs

Les paramètres concernés s'appliquent aux sorties des émetteurs de canal correspondant aux points S_n des Figures 1 et 2.

6.1.1 Caractéristiques spectrales

Les caractéristiques spectrales comprennent une largeur maximale de -20 dB et un rapport minimal de suppression du mode latéral tel que défini dans la Recommandation G.957.

6.1.2 Puissance injectée moyenne

Les puissances injectées moyennes maximale et minimale sont définies dans la Recommandation G.957.

6.1.3 Taux d'extinction

Le taux d'extinction est défini dans la Recommandation G.957.

6.1.4 Gabarit du diagramme de l'œil

A étudier.

6.1.5 Fréquence centrale

Pour des espacements de canaux de 50 GHz sur une fibre, les fréquences de canal autorisées sont fondées sur une grille à 50 GHz, la fréquence de référence étant de 193,10 THz. Pour des espacements de canaux de 100 GHz ou plus sur une fibre, les fréquences de canal autorisées sont fondées sur une grille à 100 GHz, la fréquence de référence étant de 193,1 THz. La table des fréquences de la grille à 50 et à 100 GHz associée à la plage de gain de l'amplificateur EDFA est représentée à l'Annexe A. Les extrémités sont données à titre illustratif et non normatif.

Des fréquences centrales de canal pour les applications sur des fibres G.652/G.655 sont proposées dans le Tableau III.1 de l'Appendice III.

Des fréquences centrales de canal pour les applications sur des fibres G.653 sont proposées dans le Tableau IV.1 de l'Appendice IV.

6.1.6 Espacement des canaux

L'espacement nominal des canaux est l'espacement des fréquences de canaux adjacents. L'espacement des canaux peut être régulier ou irrégulier. On peut utiliser un espacement irrégulier pour atténuer les effets du mélange de quatre ondes dans les fibres G.653; une méthodologie d'attribution des canaux est donnée dans l'Appendice V.

6.1.7 Ecart par rapport à la fréquence centrale

L'écart par rapport à la fréquence centrale est définie comme la différence entre la fréquence centrale nominale et la fréquence centrale réelle.

L'écart par rapport à la fréquence centrale est notamment dû à tous les processus qui affectent la valeur instantanée de la fréquence centrale de la source sur un intervalle de mesure adapté au débit du canal. Ces processus comprennent les variations de longueur d'onde ("chirp") de la source, l'élargissement de la bande des informations due à l'automodulation de phase et les effets dus à la température et au vieillissement.

Le Tableau 3 indique l'écart maximal en fin de vie par rapport à la fréquence centrale à associer à chaque espacement de canaux.

Tableau 3/G.692 – Ecart en fin de vie par rapport à la fréquence centrale associé à chaque espacement de canaux

Espacement de canaux GHz (n)	50	100	n ≥ 200
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale ± GHz	A étudier	A étudier	n/5

Pour les systèmes avec espacement irrégulier des canaux, les canaux situés aux frontières entre des espacements de canaux différents doivent se conformer au plus strict des deux écarts.

6.2 Port d'entrée de chacun des canaux

Les paramètres concernés s'appliquent aux entrées du multiplexeur optique/amplificateur optique (OM/OA) correspondant aux points R_{Mn} de la Figure 1.

6.3 Interfaces optiques aux points MPI-S et S'

Les paramètres concernés s'appliquent aux interfaces optiques aux points MPI-S et S' de la Figure 1.

6.3.1 Diaphonie du côté émission optique

A étudier.

6.3.2 Puissance de sortie par canal

La puissance de sortie par canal est la puissance optique injectée moyenne dans ce canal. Elle comprend le bruit correspondant à l'émission spontanée amplifiée dans la bande du canal.

6.3.3 Puissance injectée totale

Valeur maximale moyenne de la puissance optique injectée moyenne au point MPI-S ou au point S'.

6.3.4 Rapport signal sur bruit optique d'un canal

A étudier.

6.3.5 Différence maximale de puissance par canal au point MPI-S ou au point S'

La différence maximale de puissance par canal est la différence entre la plus grande valeur et la plus petite valeur des puissances injectées par canal présentes simultanément dans une largeur de bande de résolution optique donnée, indépendamment du nombre de canaux, dans l'application.

6.4 Trajet optique

Pour garantir la qualité de fonctionnement des systèmes pour chacune des applications énumérées dans le Tableau 1, il est nécessaire de spécifier les caractéristiques du trajet optique entre les points de référence MPI-S et MPI-R tout comme entre les points R' et S', ces points étant tous représentés sur la Figure 1.

6.4.1 Affaiblissement

L'affaiblissement est défini dans la Recommandation G.957. Les plages d'affaiblissement spécifiées pour les distances cibles sont fondées sur l'hypothèse d'un affaiblissement dans les fibres installées de 0,28 dB/km (y compris la marge due aux épissures et la marge de câble) entre 1530 et 1565 nm. Cette hypothèse d'affaiblissement dans les fibres se traduit par un affaiblissement de 11 dB pour une distance cible de 40 km. Les plages d'affaiblissement pour des distances qui sont des multiples de 40 km correspondent aux multiples appropriés de 11 dB. Dans la pratique, il est possible que ces valeurs ne s'appliquent pas à tous les câbles; les distances auxquelles on peut parvenir en réalité peuvent alors être plus courtes.

Le Tableau 4 contient les plages d'affaiblissement pour les systèmes sans amplificateur optique de ligne. Le Tableau 5 contient les plages d'affaiblissement pour les systèmes avec amplificateurs optiques de ligne.

Tableau 4/G.692 – Plages d'affaiblissement pour les codes d'application sans amplificateur optique de ligne

Code d'application	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z
Plage d'affaiblissement – maximale – minimale	22 dB à étudier	33 dB à étudier	44 dB à étudier

Tableau 5/G.692 – Plages d'affaiblissement pour les codes d'application avec amplificateurs optiques de ligne

Code d'application	nLx-y.z	nVx-y.z
Plage d'affaiblissement (entre amplificateurs optiques) – maximale – minimale	22 dB à étudier	33 dB à étudier

6.4.2 Dispersion

La dispersion comprend les effets de la dispersion chromatique définis dans la Recommandation G.957 ainsi que les effets de la dispersion des modes de polarisation. Les limites de dispersion spécifiées pour les distances cibles sur les fibres G.652 sont fondées sur l'hypothèse de 20 ps/(nm.km). La spécification des limites de dispersion pour les fibres G.655 appelle un complément d'étude.

Le Tableau 6 contient les plages de dispersion pour les systèmes sans amplificateur optique de ligne et les systèmes avec amplificateurs optiques de ligne sur des fibres G.652.

Tableau 6/G.692 – Dispersion maximale pour les applications sur des fibres G.652

Code d'application	L	V	U	nV3-y.2	nL5-y.2	nV5-y.2	nL8-y.2
Dispersion maximale (ps/nm)	1600	2400	3200	7200	8000	12 000	12 800

NOTE – Pour les systèmes STM-16 et les valeurs de dispersion supérieures à 10 000 ps/nm, des techniques de prise en charge de la dispersion pourraient être requises. On considère que les affaiblissements associés à ces techniques ne sont pas compris dans les plages d'affaiblissement spécifiées au 6.4.1.

6.4.3 Réflexions

Les paramètres liés aux réflexions comprennent l'affaiblissement d'adaptation optique minimal et la réflectance discrète maximale, ces paramètres étant définis dans la Recommandation G.957.

6.5 Paramètres des amplificateurs optiques de ligne

Les paramètres concernés ne s'appliquent qu'aux systèmes comprenant des amplificateurs de ligne.

6.5.1 Variation du gain multicanal

Ce paramètre est défini dans la norme CEI 61291-4.

6.5.2 Pente du gain multicanal

Ce paramètre est défini dans la norme CEI 61291-4.

6.5.3 Variation différentielle du gain multicanal

Ce paramètre est défini dans la norme CEI 61291-4.

6.5.4 Puissance reçue totale

Ce paramètre est donné par la valeur maximale moyenne de la puissance totale d'entrée présente au point R' de la Figure 1.

6.5.5 Puissance injectée totale

Ce paramètre est donné par la valeur maximale moyenne de la puissance d'entrée présente au point S' de la Figure 1.

6.5.6 Facteur de bruit spontané du signal

Ce paramètre est défini dans la Recommandation G.661.

6.6 Interfaces optiques aux points MPI-R et R'

Les paramètres concernés s'appliquent aux interfaces optiques aux points MPI-R et R' de la Figure 1. Les valeurs extrémales de ces paramètres sont spécifiées indépendamment du nombre de canaux présents.

6.6.1 Puissance d'entrée moyenne par canal

La puissance d'entrée moyenne par canal est donnée par les valeurs extrémales moyennes de la puissance d'entrée par canal mesurée au point MPI-R ou au point R'.

6.6.2 Puissance d'entrée totale moyenne

La puissance totale moyenne est donnée par la valeur maximale moyenne de la puissance d'entrée totale mesurée au point MPI-R ou au point R'.

6.6.3 Rapport signal sur bruit optique d'un canal

A étudier.

6.6.4 Diaphonie optique aux points MPI-R et R'

A étudier.

6.6.5 Différence maximale de puissance par canal au point MPI-R ou au point R'

La différence maximale de puissance par canal est la différence entre la plus grande valeur et la plus petite valeur des puissances d'entrée par canal présentes simultanément dans une largeur de bande de résolution optique donnée, indépendamment du nombre de canaux, dans l'application.

6.7 Port de sortie de chacun des canaux

Les paramètres concernés s'appliquent aux sorties de l'amplificateur optique/démultiplexeur optique (OA/OD) correspondant aux points S_{Dn} de la Figure 1.

6.7.1 Diaphonie optique aux ports de sortie des canaux

La diaphonie optique est définie comme le rapport entre d'une part la puissance perturbatrice totale combinée due à la puissance des signaux provenant de tous les autres canaux, fonctionnant sous toutes les conditions spécifiées, et d'autre part le niveau de puissance nominale des signaux dans le canal souhaité, aux points de référence de sortie des canaux $S_{D1} \dots S_{Dn}$ conformément à la Figure 1, dans la largeur de bande résultante du démultiplexeur optique et récepteur optique, exprimé en dB.

6.8 Entrée de chacun des récepteurs

Les paramètres concernés s'appliquent aux entrées des récepteurs de canal correspondant aux points R_n de la Figure 1.

6.8.1 Sensibilité d'un récepteur

La sensibilité d'un récepteur est définie comme la valeur minimale de la puissance reçue moyenne au point R_n pour parvenir à un taux BER de 1×10^{-12} . Elle tient compte des pénalités de puissance engendrées par l'utilisation d'un émetteur dans les conditions d'exploitation normalisées avec les valeurs de taux d'extinction, de temps de montée et de descente des impulsions, d'affaiblissement d'adaptation optique aux points S_n , de dégradations au niveau des connecteurs des récepteurs, de diaphonie, de bruit de l'amplificateur optique et de tolérances de mesure correspondant au cas le plus défavorable. La sensibilité d'un récepteur ne tient pas compte des pénalités de puissance liées à la dispersion, à la gigue ou encore aux réflexions sur le trajet optique; ces effets sont spécifiés séparément dans l'attribution de la pénalité maximale liée au trajet optique. Les effets du vieillissement ne sont pas spécifiés séparément car ils dépendent du début de vie, de la température nominale du récepteur et de la fin de vie; on ne souhaite pas que ces effets, dans le cas le plus défavorable, se traduisent par un affaiblissement supérieur à 2-4 dB. Dans la présente Recommandation, les sensibilités de récepteur sont des valeurs de fin de vie, correspondant au cas le plus défavorable.

6.8.2 Saturation d'un récepteur

La saturation d'un récepteur est la valeur maximale acceptable de la puissance moyenne reçue au point R_n pour un taux BER de 1×10^{-12} .

6.8.3 Pénalité liée au trajet optique

A définir.

6.8.4 Réflectance d'un récepteur

La réflectance d'un récepteur est définie dans la Recommandation G.957.

6.8.5 Rapport signal sur bruit optique

Il s'agit de la valeur minimale requise du rapport signal sur bruit optique pour parvenir à un taux BER de 1×10^{-12} .

6.8.6 Plage de longueurs d'onde d'un récepteur

La plage de longueurs d'onde d'un récepteur est définie comme la plage acceptable de longueurs d'onde au point R_n . Cette plage doit être suffisamment large pour couvrir toute la plage de fréquences centrales contenues dans la bande passante de l'amplificateur optique.

6.9 Paramètres relatifs au canal de surveillance optique

6.9.1 Longueur d'onde du canal de surveillance optique

La longueur d'onde du canal de surveillance optique est la longueur d'onde à laquelle ce canal est transmis. Sa valeur nominale est de 1510 ± 10 nm ($198,5 \pm 1,4$ THz). D'autres longueurs d'onde sont données dans l'Annexe B.

7 Valeurs des paramètres aux interfaces optiques

Le Tableau 7 indique les paramètres qui sont nécessaires aux diverses interfaces (voir Figure 1) d'un système de communication optique, afin de garantir la compatibilité transversale. En principe, il existe un tableau pour chaque code d'application. Toutefois, au stade actuel d'élaboration de la présente Recommandation, seul un gabarit de tableau est présenté. Les sous-paragraphes dans lesquels sont donnés la définition et les valeurs des paramètres sont précisés dans le Tableau 7. Lorsqu'aucune valeur n'est donnée, la valeur fera l'objet d'un complément d'étude.

Tableau 7/G.692 – Gabarit de tableau pour les interfaces optiques

Code d'application	Valeur	Unité	Note (sous- paragraphe)
Nombre de canaux			5.1
Débit/Format des canaux			5.1
Sortie de chacun des émetteurs			
Caractéristiques spectrales			6.1.1
Puissance injectée moyenne		dBm	6.1.2
Taux d'extinction			6.1.3
Gabarit du diagramme de l'œil			6.1.4
Fréquence centrale		GHz	6.1.5
Espacement des canaux		GHz	6.1.6
Ecart par rapport à la fréquence centrale		GHz	6.1.7
Port d'entrée de chacun des canaux			6.2
NOTE – Les paramètres appellent un complément d'étude			
Interfaces optiques aux points MPI-S et S'			
Diaphonie du côté émission optique		dB	6.3.1
Puissance de sortie par canal		dBm	6.3.2
Puissance injectée totale maximale		dBm	6.3.3
Rapport signal sur bruit d'un canal		dB	6.3.4
Différence maximale de puissance par canal au point MPI-S ou au point S'		dB	6.3.5
Amplificateur optique de ligne			
Variation du gain		dB	6.5.1
Pente du gain		dB/dB	6.5.2
Différence de gain		dB	6.5.3
Puissance reçue totale maximale		dBm	6.5.4
Puissance injectée totale maximale		dBm	6.5.5
Facteur de bruit spontané des signaux		dB	6.5.6
Trajet optique			
Affaiblissement		dB	6.4.1
Dispersion		ps/nm	6.4.2
Réflectance discrète maximale		dB	6.4.3
Affaiblissement d'adaptation optique minimal		dB	6.4.3

Tableau 7/G.692 – Gabarit de tableau pour les interfaces optiques (fin)

Code d'application	Valeur	Unité	Note (sous-paragraphe)
Interfaces optiques aux points MPI-R et R'			
Puissance d'entrée moyenne parcanal			6.6.1
– maximale		dBm	
– minimale		dBm	
Puissance d'entrée moyenne totale			6.6.2
– maximale		dBm	
Rapport signal sur bruit par canal		dB	6.6.3
Diaphonie optique		dB	6.6.4
Différence maximale de puissance par canal au point MPI-R ou au point R'		dB	6.6.5
Port de sortie de chacun des canaux			6.7
Diaphonie optique aux ports de sortie des canaux		dB	6.7.1
NOTE – Les autres paramètres non définis au 6.7 appellent un complément d'étude			
Entrée de chacun des récepteurs			
Sensibilité d'un récepteur		dBm	6.8.1
Saturation d'un récepteur		dBm	6.8.2
Pénalité liée au trajet optique		dB	6.8.3
Réflectance d'un récepteur		dB	6.8.4
Rapport signal sur bruit optique		dB	6.8.5
Longueur d'onde minimale du récepteur		nm	6.8.6
Longueur d'onde maximale du récepteur		nm	6.8.6

ANNEXE A

Fréquences centrales nominales

Le Tableau A.1 ci-après donne les fréquences centrales nominales sur la base de l'espacement minimal des canaux de 50 GHz ancré sur la référence 193,10 THz. Il convient de noter que la valeur de "c" (vitesse de la lumière) à utiliser pour la conversion entre la fréquence et la longueur d'onde est de $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Tableau A.1/G.692 – Fréquences centrales nominales

Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 50 GHz	Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 100 GHz et plus	Longueur d'onde centrale nominale (nm)
196,10	196,10	1528,77
196,05	–	1529,16
196,00	196,00	1529,55
195,95	–	1529,94
195,90	195,90	1530,33
195,85	–	1530,72
195,80	195,80	1531,12
195,75	–	1531,51
195,70	195,70	1531,90
195,65	–	1532,29
195,60	195,60	1532,68
195,55	–	1533,07
195,50	195,50	1533,47
195,45	–	1533,86
195,40	195,40	1534,25
195,35	–	1534,64
195,30	195,30	1535,04
195,25	–	1535,43
195,20	195,20	1535,82
195,15	–	1536,22
195,10	195,10	1536,61
195,05	–	1537,00
195,00	195,00	1537,40
194,95	–	1537,79
194,90	194,90	1538,19
194,85	–	1538,58
194,80	194,80	1538,98
194,75	–	1539,37
194,70	194,70	1539,77
194,65	–	1540,16
194,60	194,60	1540,56
194,55	–	1540,95
194,50	194,50	1541,35
194,45	–	1541,75
194,40	194,40	1542,14

Tableau A.1/G.692 – Fréquences centrales nominales (suite)

Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 50 GHz	Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 100 GHz et plus	Longueur d'onde centrale nominale (nm)
194,35	–	1542,54
194,30	194,30	1542,94
194,25	–	1543,33
194,20	194,20	1543,73
194,15	–	1544,13
194,10	194,10	1544,53
194,05	–	1544,92
194,00	194,00	1545,32
193,95	–	1545,72
193,90	193,90	1546,12
193,85	–	1546,52
193,80	193,80	1546,92
193,75	–	1547,32
193,70	193,70	1547,72
193,65	–	1548,11
193,60	193,60	1548,51
193,55	–	1548,91
193,50	193,50	1549,32
193,45	–	1549,72
193,40	193,40	1550,12
193,35	–	1550,52
193,30	193,30	1550,92
193,25	–	1551,32
193,20	193,20	1551,72
193,15	–	1552,12
193,10	193,10	1552,52
193,05	–	1552,93
193,00	193,00	1553,33
192,95	–	1553,73
192,90	192,90	1554,13
192,85	–	1554,54
192,80	192,80	1554,94
192,75	–	1555,34
192,70	192,70	1555,75
192,65	–	1556,15

Tableau A.1/G.692 – Fréquences centrales nominales (*fin*)

Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 50 GHz	Fréquences centrales nominales (THz) pour des espacements de 100 GHz et plus	Longueur d'onde centrale nominale (nm)
192,60	192,60	1556,55
192,55	–	1556,96
192,50	192,50	1557,36
192,45	–	1557,77
192,40	192,40	1558,17
192,35	–	1558,58
192,30	192,30	1558,98
192,25	–	1559,39
192,20	192,20	1559,79
192,15	–	1560,20
192,10	192,10	1560,61

NOTE – Les valeurs extrémales de ce tableau ne sont données qu'à titre illustratif. Il est prévu d'utiliser des fréquences situées au-delà de ces limites dans le cadre d'évolutions futures des systèmes multicanaux.

ANNEXE B

Différentes approches relatives aux canaux de surveillance optiques

Deux amplificateurs fonctionnant avec des longueurs d'onde de canal de surveillance optique (OSC) différentes ne seront généralement pas compatibles transversalement.

B.1 Canal OSC à 1480 nm

La longueur d'onde doit être de 1480 ± 10 nm ($202,6 \pm 1,4$ THz).

Dans ce cas, l'approche est la même que pour les systèmes monocanaux.

B.2 Canal OSC dans la bande des 1310 nm

Dans ce cas, l'approche est la même que pour les systèmes monocanaux. Les limites de cette plage de longueurs d'onde appellent un complément d'étude.

B.3 Canal OSC dans la largeur de bande de gain de l'amplificateur EDFA

L'option de canal OSC dans la bande vise les applications pour lesquelles on achemine plusieurs longueurs d'onde à travers un ou plusieurs amplificateurs de ligne avec des distances entre amplificateurs les plus grandes possible et avec des canaux de grande capacité. Pour ces applications, les amplificateurs EDFA utilisent leur puissance de pompage maximale, tout en restant dans les limites de fiabilité des lasers de pompage.

APPENDICE I

Méthodologie relative à la détermination des niveaux de puissance optique

Le présent appendice donne des renseignements supplémentaires sur le choix des puissances optiques maximale et minimale par canal ainsi que sur le choix de la puissance totale maximale.

I.1 Puissance par canal

I.1.1 Puissance minimale par canal

Le présent appendice décrit une méthodologie pouvant être utilisée pour déterminer la puissance optique minimale de fin de vie par canal qui est nécessaire pour maintenir un rapport signal sur bruit optique (OSNR) souhaité. Pour établir une relation entre le rapport OSNR et le taux BER, il faut tenir compte du processus de détection, qui sera différent pour les systèmes avec amplification et pour les systèmes sans amplification. La relation avec le taux BER est une caractéristique de récepteur, qui n'est pas encore incorporée dans la méthodologie de conception. La puissance optique de sortie par canal minimale résultante est indépendante du nombre de canaux (c'est-à-dire du nombre de longueurs d'onde) et peut être utilisée à la fois pour les systèmes monocanaux et les systèmes multicanaux. Cette méthodologie est très intéressante pour les systèmes avec amplificateurs de ligne, mais elle peut aussi être appliquée aux systèmes utilisant des pré-amplificateurs.

Le présent appendice décrit comment les effets des émissions spontanées amplifiées (ASE) limitent la puissance optique minimale par canal pour les systèmes avec amplification optique monocanaux et multicanaux.

La puissance des émissions ASE par intervalle de fréquence unitaire pour un amplificateur optique est donnée par:

$$P_{ASE} = 2N_{SP}(G-1)h\nu \quad (I-1)$$

où $N_{SP} \geq 1$ est le facteur de bruit spontané, G le gain interne, h la constante de Planck et ν la fréquence optique. Le facteur de bruit externe de l'amplificateur est donné (en dB) par:

$$NF = 10 \text{ Log} \left[2N_{SP} - \frac{2N_{SP} - 1}{G} \right] + \eta_{IN} \quad (I-2)$$

où η_{IN} est l'affaiblissement dû au couplage à l'entrée de l'amplificateur en dB. Dans l'hypothèse simplificatrice où la puissance de sortie totale (y compris la puissance accumulée des émissions ASE) est la même après chaque amplificateur et où le gain $G \gg 1$, la formule suivante donne une approximation du rapport signal sur bruit optique:

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N - 10 \text{ Log} [h\nu\Delta\nu_0] \quad (I-3)$$

où P_{out} est la puissance de sortie (d'un canal) en dBm, L l'affaiblissement sur un tronçon entre deux amplificateurs en dB, NF le facteur de bruit externe en dB, $\Delta\nu_0$, la largeur de bande optique, N le nombre de tronçons de la chaîne; l'affaiblissement étant supposé être le même pour tous les tronçons. Dans la bande des $1,55 \mu\text{m}$, $10 \text{ Log} (h\nu\Delta\nu_0) = -58$ dBm pour une largeur de bande optique de $0,1$ nm. Cette approche peut être appliquée à un système pour lequel l'affaiblissement diffère suivant les tronçons, si l'on suppose que tous les affaiblissements sont égaux ou inférieurs à L ; dans ce cas, on obtient une estimation du rapport OSNR correspondant au cas le plus défavorable.

La relation ci-dessus donne une prévision pratique et utile, étant donné que le rapport OSNR à l'entrée du récepteur (point R_n de la Figure 1) est le résultat d'une moyenne quadratique sur N sources de bruit effectives, de sorte que les petites différences d'affaiblissement de la puissance de sortie pour

chacun des tronçons tendent à s'estomper. L'hypothèse $G \gg 1$ est vraie pour la plupart des systèmes avec amplification.

L'équation (I-3) peut être utilisée pour évaluer la puissance optique minimale (P_{out}) qui est requise pour maintenir un rapport OSNR souhaité. Cette puissance de sortie minimale est mesurée à la sortie des amplificateurs (point S' de la Figure 1). Etant donné qu'il s'agit d'une limite sur la puissance minimale (dans un canal) et que cette limite est indépendante du nombre de canaux, elle peut être utilisée pour les systèmes monocanaux comme pour les systèmes multicanaux. Dans le cas où la puissance varie d'un canal à l'autre, si la puissance de chaque canal est supérieure ou égale à la puissance minimale, tous les rapports OSNR seront aussi supérieurs ou égaux à la valeur minimale requise.

Dans un système réel utilisant le multiplexage en longueur d'onde, la puissance de sortie différera probablement du fait des différences de gain et le facteur de bruit peut aussi varier en fonction des amplificateurs et en fonction des canaux. En outre, l'affaiblissement différera probablement suivant les tronçons. Néanmoins, l'équation (I-3) est utile pour l'établissement de niveaux minimaux de puissance optique par canal, car il n'est nécessaire de prendre en considération que le cas le plus défavorable (c'est-à-dire le cas pour lequel l'affaiblissement sur chacun des tronçons est égal à sa valeur la plus élevée et pour lequel on prend en considération le canal ayant la puissance de sortie la plus faible).

I.1.2 Puissance maximale par canal

Les limites relatives aux niveaux maximaux de puissance optique peuvent être fondées soit sur les effets non linéaires dans les fibres soit sur des considérations relatives à la sécurité laser. Si la puissance de sortie totale maximale (y compris les émissions ASE) est fixée à la limite correspondant aux lasers de Classe 3A, P_{3A} , la puissance nominale maximale par canal, P_{chmax} , est liée au nombre de canaux par la relation suivante:

$$P_{chmax} = P_{3A} - 10 \text{ Log}(M), \quad (\text{I-4})$$

où M est le nombre de canaux en fonctionnement. Cette équation est donnée à titre illustratif, étant donné que la puissance de sortie peut varier d'un canal à l'autre tant que la puissance totale de sortie reste inférieure à P_{3A} . Cette limite est valide pour les systèmes avec et sans amplificateurs en ligne, comme décrit dans la présente Recommandation.

Dans certains cas, les non-linéarités dans les fibres imposent des limites plus strictes au niveau de puissance de sortie que les considérations relatives à la sécurité laser. En particulier, l'automodulation de phase, la transmodulation de phase et la diffusion Brillouin stimulée imposent des limites à la puissance maximale par canal. Les limites relatives au niveau de puissance optique imposées par l'automodulation de phase et la diffusion Brillouin stimulée sont indépendantes du nombre de canaux présents et, dans le cas de l'automodulation de phase, seuls les systèmes à fibres G.652 et G.655 seront affectés. Toutefois, la transmodulation de phase n'affecte que les systèmes multicanaux et elle est plus importante pour les systèmes à faible espacement des canaux. Les dégradations dues à la transmodulation de phase sont plus importantes dans les systèmes à fibres G.652 que dans les systèmes à fibres G.653 et G.655. La puissance de sortie par canal maximale autorisée due aux limites imposées par l'auto-modulation de phase ou par la transmodulation de phase variera d'un code d'application à l'autre et dépendra du nombre de tronçons et de leur longueur cible.

Les limites relatives à la puissance optique maximale par canal introduites par la diffusion Brillouin stimulée appellent un complément d'étude et ne sont pas examinées ici. Le mélange de quatre ondes (FWM, *four wave mixing*) n'affecte que les systèmes multicanaux et n'impose pas de limite dans la pratique aux systèmes à fibres G.652 ou G.655. La diffusion Raman stimulée n'impose pas non plus de limite dans la pratique aux systèmes multicanaux à fibres G.652 décrits dans la présente

Recommandation. L'incidence de la diffusion de Raman stimulée sur certains systèmes multicanaux à espacement variable des canaux, utilisant la fibre G.653, appelle également un complément d'étude.

I.1.3 Plage maximale de puissance par canal

Les limites relatives au niveau de puissance définies aux I.1.1 et I.1.2 permettent de définir la plage maximale des niveaux de puissance par canal. La puissance minimale par canal est indépendante du nombre de canaux présents, ce qui n'est pas le cas de la puissance maximale par canal. Par exemple, pour huit canaux présents, le niveau maximal est déterminé par la limite de sécurité, tandis que pour un canal présent, le niveau maximal sera déterminé par la limite imposée par l'automodulation de phase applicable au code d'application. On obtient une puissance par canal relativement élevée lorsque seuls quelques canaux sont présents; à mesure qu'on ajoute des canaux, la puissance par canal diminue. Toutefois, ceci dépend de la réalisation de l'amplificateur optique.

I.2 Puissance totale maximale

La puissance totale requise en sortie d'un amplificateur optique peut être évaluée par:

$$P_{tot} = \sum P_{out} + N \cdot BW_{eff} \cdot h\nu \cdot 10^{(NF+L)/10} \quad (I-5)$$

Ici, NF et L sont donnés en dB et tous les autres termes en unités linéaires. Le dernier terme correspond à la puissance totale accumulée des émissions ASE et BW_{eff} est la largeur de bande effective des émissions ASE définie comme la puissance totale des émissions ASE divisée par la densité de puissance de ces émissions. Cette largeur de bande est d'environ 20 à 30 nm pour un seul amplificateur et d'environ 15 nm pour une chaîne allant jusqu'à 10 amplificateurs, tant que le gain des signaux reste proche du gain spectral maximal de l'amplificateur. Cette approximation est suffisante tant que la puissance des signaux reste dominante dans la puissance totale.

APPENDICE II

Choix de l'espacement minimal des canaux et de la fréquence de référence de grille pour le plan de multiplexage en longueur d'onde

Le présent appendice contient un résumé des discussions qui ont conduit à un espacement des canaux de 100 GHz, et par la suite de 50 GHz, et quelques renseignements associés au choix d'une référence de fréquence absolue.

II.1 Espacement de 100 GHz et référence à 193,10 THz

On a choisi la valeur de 193,10 THz pour la fréquence de référence de grille, en partie pour ne pas donner la préférence à une référence de fréquence absolue fondée sur une substance particulière (le choix d'une référence de fréquence absolue donnée dépendra de l'application). Toutefois, la valeur de 193,10 THz est proche de plusieurs raies correspondant à des références de fréquences absolues.

On a choisi un espacement minimal des canaux de 100 GHz, et par la suite de 50 GHz, sur la base des considérations qui suivent:

Tout d'abord, on a convenu que l'espacement des canaux devait être un multiple de 25 GHz. On a déterminé qu'un espacement minimal des canaux de 100 GHz et par la suite de 50 GHz, comporte une certaine souplesse permettant de répondre aux diverses spécifications des applications G.692. Les multiples de l'espacement minimal des canaux permettent de répondre à ces spécifications compte tenu de la capacité et du spectre de gain utilisables de l'amplificateur EDFA.

Les limites techniques (c'est-à-dire les tolérances de filtre et de source) à prendre en considération pour la détermination d'un espacement minimal des canaux ont fait l'objet de discussions. Par cette approche, on essaie de tirer le meilleur parti possible de la technique et de ne pas imposer de limites associées à des applications spécifiques. Les espacements minimaux des canaux fondés sur cette approche étaient de 125 GHz et 150 GHz. Le choix de 100 GHz et par la suite de 50 GHz comme espacement minimal des canaux découlant de ces considérations techniques laisse supposer que ces espacements ne seront peut-être réalisables que pour un sous-ensemble des applications G.692.

II.2 Référence de fréquence absolue

Il s'agit d'une référence de fréquence optique pour laquelle la précision de la fréquence est maintenue à (*) ou à une valeur meilleure et la stabilité en fréquence est maintenue à (*) ou à une valeur meilleure, les deux paramètres étant vérifiés par rapport à un étalon de fréquence idéal (par exemple étalons nationaux ou étalons recommandés par le Comité international des poids et mesures (CIPM, *International committee for weights and measures*), y compris le couple He-Ne stabilisé par de l'iode et le couple He-Ne stabilisé par du méthane).

Les références de fréquence absolues peuvent être utilisées pour les applications suivantes:

- 1) étalonnage d'équipements de test utilisant le multiplexage en longueur d'onde;
- 2) fourniture d'une référence de fréquence pour la fabrication et l'étalonnage de dispositifs utilisant le multiplexage en longueur d'onde;
- 3) fourniture directe d'une référence de fréquence aux systèmes multicanaux;
- 4) contrôle ou maintien des fréquences des sources optiques.

Les spécifications relatives à une référence de fréquence absolue peuvent être exprimées en fréquence et en longueur d'onde dans le vide.

NOTE – Les valeurs numériques indiquées par (*) sont à l'étude.

II.2.1 Précision de la référence de fréquence absolue

Il s'agit du décalage en fréquence à long terme de la référence de fréquence absolue par rapport à sa fréquence idéale (où "long terme" correspond à la durée de fonctionnement attendue de la référence de fréquence absolue).

NOTE – La précision de la fréquence comprend les éventuelles variations de fréquence dues aux variations de température et d'humidité et aux variations d'autres paramètres environnementaux. La stabilité et la reproductibilité ainsi que la traçabilité par rapport à un étalon de fréquence idéal sont également compris.

II.2.2 Stabilité de la référence de fréquence absolue

A étudier.

APPENDICE III

Fréquences de canaux proposées pour les applications sur des fibres G.652/G.655

Le Tableau III.1 indique certaines fréquences centrales de canaux proposées pour des fibres G.652 ou G.655.

**Tableau III.1/G.692 – Fréquences centrales de canaux proposées
pour les applications sur des fibres G.652/G.655**

Fréquence en THz	Espacement de 100 GHz (8 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz (4 canaux ou plus)	Espacement de 400 GHz (4 canaux uniquement)	Espacement de 500/400 GHz (8 canaux uniquement)	Espacement de 600 GHz (4 canaux uniquement)	Espacement de 1000 GHz (4 canaux uniquement)	Longueur d'onde dans le vide en nm
196,1	*	*					1528,77
196,0	*						1529,55
195,9	*	*					1530,33
195,8	*						1531,12
195,7	*	*					1531,90
195,6	*						1532,68
195,5	*	*			*	*	1533,47
195,4	*						1534,25
195,3	*	*		*			1535,04
195,2	*						1535,82
195,1	*	*					1536,61
195,0	*						1537,40
194,9	*	*			*		1538,19
194,8	*			*			1538,98
194,7	*	*					1539,77
194,6	*						1540,56
194,5	*	*				*	1541,35
194,4	*						1542,14
194,3	*	*		*	*		1542,94
194,2	*						1543,73
194,1	*	*					1544,53
194,0	*						1545,32
193,9	*	*	*	*			1546,12
193,8	*						1546,92
193,7	*	*		*	*		1547,72
193,6	*						1548,51
193,5	*	*	*			*	1549,32
193,4	*			*			1550,12
193,3	*	*		*			1550,92
193,2	*						1551,72
193,1	*	*	*		*		1552,52
193,0	*			*			1553,33
192,9	*	*		*			1554,13
192,8	*						1554,94
192,7	*	*	*				1555,75
192,6	*						1556,55

**Tableau III.1/G.692 – Fréquences centrales de canaux proposées
pour les applications sur des fibres G.652/G.655 (fin)**

Fréquence en THz	Espacement de 100 GHz (8 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz (4 canaux ou plus)	Espacement de 400 GHz (4 canaux uniquement)	Espacement de 500/400 GHz (8 canaux uniquement)	Espacement de 600 GHz (4 canaux uniquement)	Espacement de 1000 GHz (4 canaux uniquement)	Longueur d'onde dans le vide en nm
192,5	*	*		*	*	*	1557,36
192,4	*						1558,17
192,3	*	*	*				1558,98
192,2	*						1559,79
192,1	*	*		*			1560,61

APPENDICE IV

Fréquences de canaux proposées pour les applications sur des fibres G.653

Le Tableau IV.1 indique certaines fréquences centrales de canaux proposées pour les applications sur des fibres G.653. Une limite due au mélange de quatre ondes (FWM) peut être imposée à certaines applications si on utilise un espacement régulier des canaux. Pour atténuer cette limite, on peut par exemple utiliser un espacement irrégulier des canaux. Une méthode permettant de réaliser des espacements irréguliers des canaux est décrite plus en détails dans l'Appendice V. Une autre façon d'atténuer cette limite consiste à mettre en œuvre la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde, dont il est question dans l'Appendice VII.

**Tableau IV.1/G.692 – Fréquences centrales de canaux proposées
pour les applications à 4 ou 8 canaux sur des fibres G.653**

Fréquence en THz	Espacement de 100 GHz (8 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz (4 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz alterné (4 ou 8 canaux) décalage de 25 GHz	Espacement de 200 GHz alterné (4 ou 8 canaux) décalage de 50 GHz	Longueur d'onde dans le vide en nm
	Espacement irrégulier sur la grille de fréquences nominales		Espacement irrégulier par décalage par rapport à la grille de fréquences nominales		
196,1	*				1528,77
196,0	*				1529,55
195,9	*	*			1530,33
195,8	*				1531,12
195,7	*	*			1531,90
195,6	*				1532,68
195,5	*	*			1533,47
195,4	*				1534,25
195,3	*	*			1535,04
195,2	*				1535,82
195,1	*	*			1536,61
195,0	*				1537,40

**Tableau IV.1/G.692 – Fréquences centrales de canaux proposées
pour les applications à 4 ou 8 canaux sur des fibres G.653 (fin)**

Fréquence en THz	Espacement de 100 GHz (8 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz (4 canaux ou plus)	Espacement de 200 GHz alterné (4 ou 8 canaux) décalage de 25 GHz	Espacement de 200 GHz alterné (4 ou 8 canaux) décalage de 50 GHz	Longueur d'onde dans le vide en nm
	Espacement irrégulier sur la grille de fréquences nominales		Espacement irrégulier par décalage par rapport à la grille de fréquences nominales		
194,9	*	*			1538,19
194,8	*				1538,98
194,7	*	*			1539,77
194,6	*				1540,56
194,5	*	*		(194,45)	1541,35
194,4	*				1542,14
194,3	*	*		(194,2)	1542,94
194,2	*				1543,73
194,1	*	*			1544,53
194,0	*				1545,32
193,9	*	*	*		1546,12
193,8	*				1546,92
193,7	*	*	(193,675)	*	1547,72
193,6	*				1548,51
193,5	*	*	(193,525)		1549,32
193,4	*				1550,12
193,3	*	*	(193,35)	*	1550,92
193,2	*				1551,72
193,1	*	*	*	*	1552,52
193,0	*				1553,33
192,9	*	*	*		1554,13
192,8	*				1554,94
192,7	*	*	(192,625)	(192,75)	1555,75
192,6	*				1556,55
192,5	*	*	*	(192,45)	1557,36
192,4	*				1558,17
192,3	*	*		*	1558,98
192,2	*				1559,79
192,1	*	*			1560,61

Méthodologie d'attribution de canaux fondée sur un espacement irrégulier des canaux pour les applications sur des fibres G.653

Introduction

On sait que la distance de transmission de systèmes multicanaux utilisant des fibres G.653 est sévèrement restreinte par le mélange de quatre ondes (FWM) lorsque l'espacement des canaux est régulier. Toutefois, cette restriction peut être atténuée lorsque, par exemple, l'espacement des canaux est irrégulier. (Voir l'Appendice II et 3.2/G.663 pour de plus amples renseignements).

La Figure V.1 a) montre un exemple de fréquences de signaux espacées régulièrement et les puissances optiques résultant du mélange de quatre ondes; certaines de ces puissances chevauchent la puissance optique des signaux, d'où une dégradation de la qualité de transmission. La Figure V.1 b) montre un exemple d'espacement irrégulier, où le chevauchement non souhaité est évité. Le présent appendice fournit une méthodologie d'attribution des canaux fondée sur un espacement irrégulier des canaux pour les fibres G.653.

NOTE – L'applicabilité de cette méthode a été confirmée jusqu'à 12 canaux, bien que la description se fonde principalement sur les systèmes à 8 canaux.

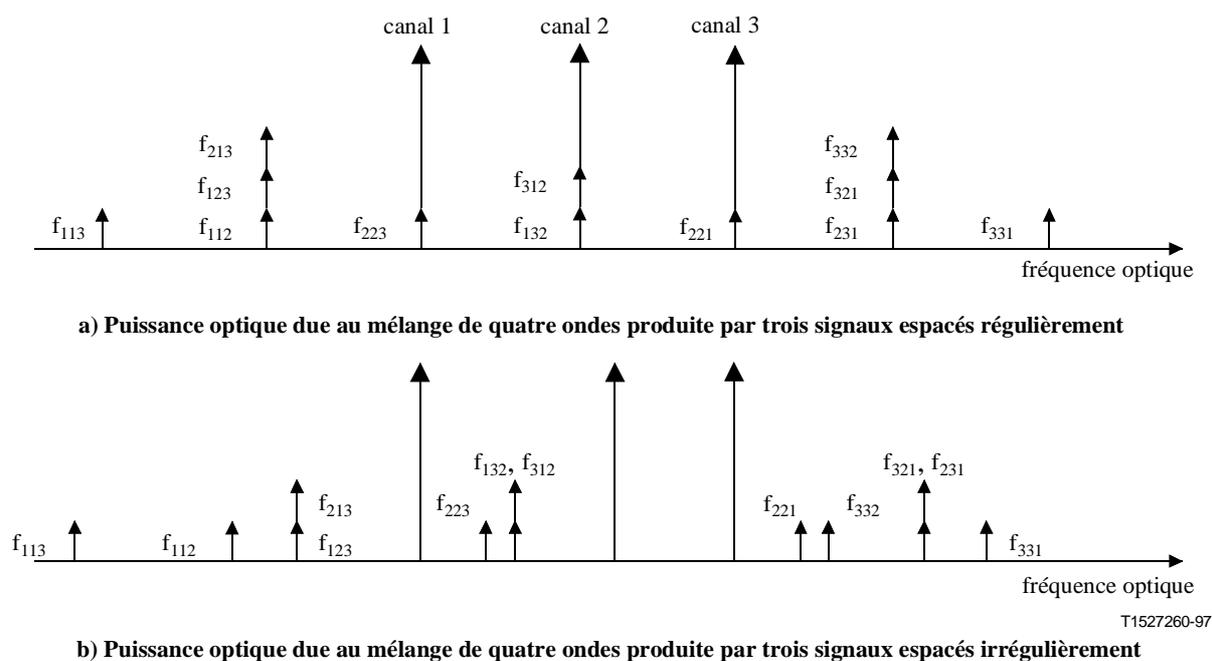


Figure V.1/G.692 – Exemple de fréquences de signaux et puissances optiques résultant du mélange de quatre ondes (FWM)

V.1 Détermination de fréquences de canaux espacés irrégulièrement

V.1.1 Conditions de mise en œuvre de base

Tout d'abord, il est nécessaire de respecter les deux conditions suivantes.

(1-1) Les fréquences de canaux espacés irrégulièrement doivent, autant que possible, figurer dans la grille à 100 GHz donnée dans l'Annexe A. Si certaines de ces fréquences ne peuvent pas être des fréquences de la grille, elles doivent se situer dans la plage du contrôle de température des lasers qui satisfont à la grille.

La condition (1-1) vise à utiliser de manière générale des sources optiques à la fois dans des systèmes multicanaux à espacement régulier à fibres G.652 et G.655 et dans des systèmes multicanaux à espacement irrégulier à fibres G.653.

(1-2) Les fréquences de canaux espacées irrégulièrement doivent être choisies de sorte qu'aucune nouvelle puissance optique générée par le mélange de quatre ondes ne tombe dans l'un quelconque des canaux des signaux optiques.

Pour satisfaire la condition (1-2), l'espacement de deux canaux quelconques doit être différent de l'espacement de chacun des autres couples de canaux [1]. Ceci s'explique par le fait que les fréquences des signaux d'origine f_i , f_j et f_k et les fréquences f_{ijk} associées aux puissances optiques résultant du mélange de quatre ondes sont reliées par l'équation ci-après:

$$f_{ijk} - f_i = f_j - f_k \quad (i, j \neq k) \quad (V-1)$$

Pour sélectionner dans la pratique des fréquences de signaux, il faut utiliser un "intervalle de fréquence" désigné par " f_s ". On fixe alors les espacements des canaux comme étant des multiples entiers de f_s ($f_s \times n_i$, $i = 1, 2, \dots, N - 1$, où N est le nombre de canaux) tout en veillant à ce que tous les espacements soient différents les uns des autres. L'intervalle f_s est donc égal à la différence minimale de fréquence entre les puissances optiques FWM et les signaux optiques. L'ensemble des entiers n_i doit être choisi de manière à réduire au minimum la largeur de bande optique dans laquelle sont compris tous les signaux.

Des exemples d'ensembles d'entiers n_i pour les systèmes à 8 canaux qui satisfont la condition (1-2) sont donnés dans le Tableau V.1 ainsi que dans la référence [1].

Tableau V.1/G.692 – Ensembles d'entiers n_i pour l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement à des systèmes à 8 canaux

n_i minimal	Ensembles d'entiers n_i pour lesquels la largeur de bande optique totale est réduite au minimum	Nombre d'ensembles	Nombre d'intervalles ($\sum n_i$)	Exemples
1	1,2,3,5,6,7,10	2	34	(1,3,5,6,7,10,2)
2	2,3,4,5,7,8,10	2	39	(2,4,10,3,8,7,5)
	2,3,4,5,6,8,11	2		(3,6,11,5,2,8,4)
	2,3,4,5,6,9,10	4		(2,6,5,10,4,3,9)
	2,3,4,5,6,7,12	14		(3,7,12,2,6,5,4)
3	2,3,4,6,7,8,9	2	43	(3,2,8,4,7,9,6)
	3,4,5,6,7,8,10	10		(3,6,7,4,8,10,5)
4	4,5,6,7,8,9,10	76	49	(8,9,7,6,5,10,4)
5	5,6,7,8,9,10,11	206	56	(9,6,7,10,8,11,5)
6	6,7,8,9,10,11,12	506	63	(6,7,8,9,10,12,11)

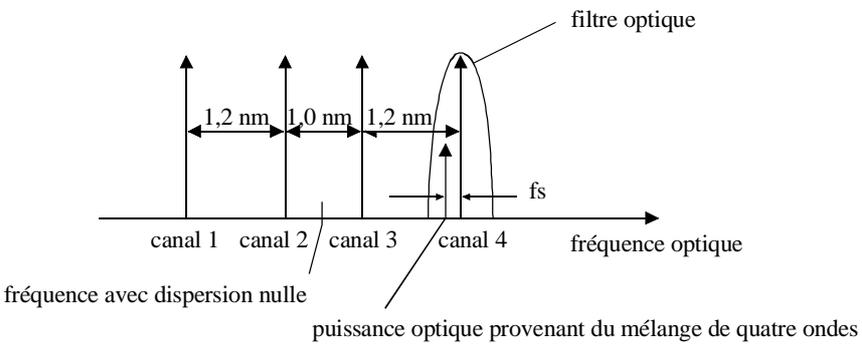
En plus des conditions (1-1), (1-2), il faut tenir compte de la condition (1-3) suivante:

(1-3) La somme des différences de fréquence entre chacune des fréquences de canaux espacées irrégulièrement et la fréquence de grille correspondante la plus proche doit être minimale.

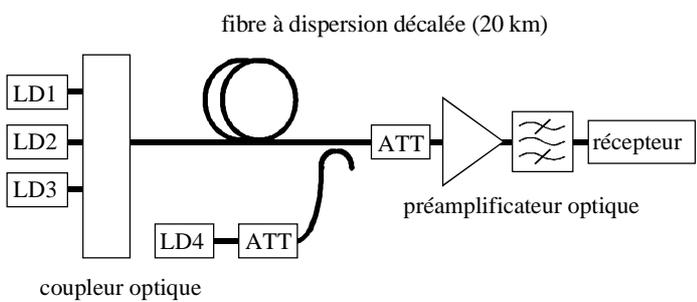
V.1.2 Détermination de l'intervalle de fréquence

Pour déterminer les fréquences des signaux, il faut d'abord déterminer la valeur minimale de l'intervalle de fréquence. Pour mieux comprendre l'intervalle de fréquence minimal" optimal, on simule une transmission sur trois canaux de 10 Gbit/s, comme représenté sur la Figure V.2 a).

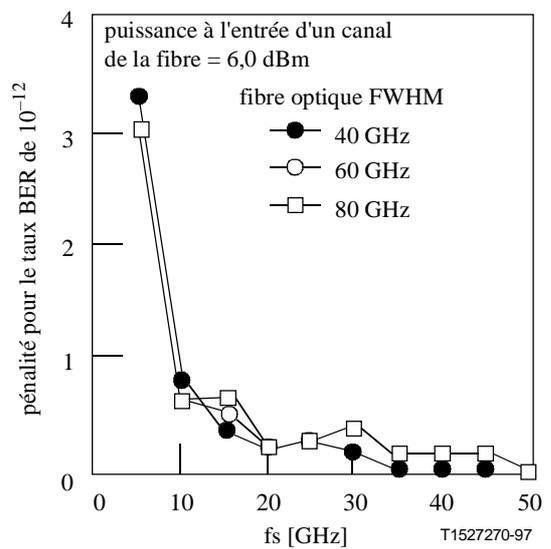
On suppose que les trois canaux sont modulés en externe. Les valeurs de pénalité calculées en fonction de l'intervalle de fréquence sont représentées sur la Figure V.2 b) pour le taux BER de 10^{-12} . Les résultats indiquent que l'intervalle de fréquence doit être supérieur à 20 GHz pour des pénalités inférieures à 0,5 dB.



fs: différence de fréquence entre la lumière résultant du mélange de quatre ondes et le canal 4



affaiblissement le long de la fibre	0,22 dB/km
pente de dispersion	0,07 ps/km/nm/nm
indice de réfraction non linéaire, n_2	$2,7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$
section effective de la fibre	$50 \mu\text{m}^2$



a) b)

Figure V.2/G.692 – Pénalité en fonction de fs

Par ailleurs, lorsque la fréquence de chaque signal optique varie de Δf , l'excursion de fréquence est réduite de $4\Delta f$ dans le cas le plus défavorable, comme démontré par l'équation (V-1). Si les fluctuations de fréquence de source sont abaissées à une valeur inférieure à 1 GHz par stabilisation de la fréquence [2], la différence de fréquence entre le signal optique et la puissance optique la plus proche résultant du mélange de quatre ondes est réduite de 24 GHz à 20 GHz dans le cas le plus défavorable, compte tenu de l'équation (V-1). Etant donné que la meilleure stabilité en fréquence qu'il est possible d'obtenir à l'heure actuelle avec les techniques classiques est d'environ 1 GHz, on en conclut que le quart de l'espacement associé à la grille à 100 GHz, soit 25 GHz, convient comme intervalle de fréquence minimal.

V.1.3 Largeur de bande optique requise pour l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement

La largeur de bande optique requise pour chaque intervalle de fréquence est représentée sur la Figure V.3. Elle peut être calculée à partir du Tableau V.1.

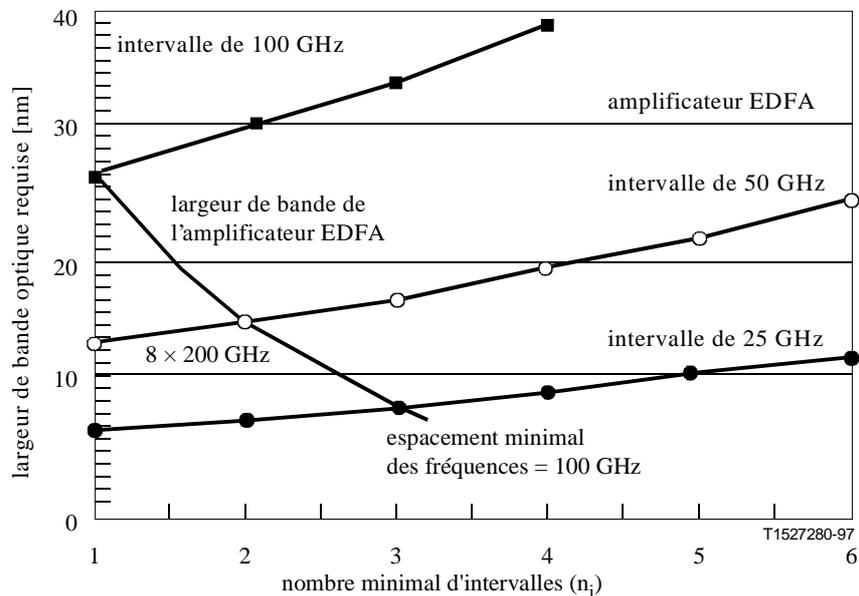


Figure V.3/G.692 – Largeur de bande optique requise

V.2 Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquence de 25 GHz

Les conditions de mise en œuvre dans le cas de l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquences de 25 GHz sont les suivantes:

(2-1) La largeur de bande optique occupée doit être inférieure à celle d'un système à 8 canaux utilisant le multiplexage en longueur d'onde et un espacement régulier des canaux de 200 GHz (11,2 nm) de manière à pouvoir utiliser des amplificateurs optiques de même largeur de bande de gain.

(2-2) L'espacement minimal des fréquences est de 125 GHz.

L'espacement minimal des fréquences le plus grand doit être choisi dans la largeur de bande optique admissible afin de réduire l'effet d'épuisement de la pompe dû au mélange de quatre ondes. Comme indiqué sur la Figure V.3 ($25 \text{ GHz} \times 5 = 125 \text{ GHz}$) convient comme espacement minimal des canaux dans ce cas.

(2-3) L'espacement des canaux est déterminé sur la base de $25 \text{ GHz} \times M$ ($M = 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$) afin de placer tous les canaux dans la largeur de bande optique de 11,2 nm. Un ensemble d'entiers satisfaisant aux conditions de mise en œuvre (1-2) et (1-3) est choisi. Il existe 206 combinaisons satisfaisant à ces conditions.

(2-4) La différence maximale de fréquence entre chacune des fréquences espacées irrégulièrement et la fréquence la plus proche dans la grille à 200 GHz doit être inférieure à 75 GHz de sorte que les fréquences espacées irrégulièrement puissent être réglées à partir de la fréquence la plus proche de la grille à 200 GHz par le seul contrôle de la température.

V.3 Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquence de 50 GHz

Les conditions de mise en œuvre dans le cas de l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquence de 50 GHz sont les suivantes:

(3-1) Les longueurs d'onde des signaux optiques doivent être inférieures à 1560 nm et la largeur de bande optique occupée doit être inférieure à 20 nm de manière à pouvoir utiliser des amplificateurs à large bande à fibre optique dopée avec des ions Er^{3+} [3].

(3-2) L'espacement minimal des fréquences est de 150 GHz ($50 \text{ GHz} \times 3$).

Comme mentionné au (2-2) du sous-paragraphe V.2, un espacement minimal des fréquences supérieur à 100 GHz convient.

(3-3) L'espacement des canaux est déterminé sur la base de $50 \text{ GHz} \times M$ ($M = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10$) afin de réduire au minimum la largeur de bande optique totale et de satisfaire aux conditions de mise en œuvre indiquées au V.1.

V.4 Attribution de fréquences de canaux espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquences de 100 GHz

Les conditions de mise en œuvre dans le cas de l'attribution de fréquences espacées irrégulièrement avec un intervalle de fréquences de 100 GHz sont les suivantes:

(4-1) Toutes les longueurs d'onde des signaux optiques doivent être comprises entre 1530 nm et 1561 nm de manière à pouvoir utiliser des amplificateurs à fibre à ions fluorure dopée avec des ions Er^{3+} .

(4-2) Les signaux optiques ne doivent pas se trouver dans une plage de longueurs d'onde autour de 1549 nm car les amplificateurs à fibre à ions fluorure dopée avec des ions Er^{3+} présentent un creux de gain dans cette région.

(4-3) L'espacement minimal des fréquences est de 200 GHz.

Il n'existe aucune attribution de fréquences permettant de satisfaire aux conditions de mise en œuvre (4-1) et (4-2), si 100 GHz est choisi comme espacement minimal des fréquences. 200 GHz convient donc mieux comme espacement minimal des fréquences.

(4-4) L'espacement des canaux est déterminé sur la base de $100 \text{ GHz} \times M$ [$M = (2, 3, 4, 5, 7, 8, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 8, 11), (2, 3, 4, 5, 6, 9, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 7, 12), (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9)$] afin de réduire au minimum la largeur de bande optique totale et de satisfaire aux conditions de mise en œuvre (4-2) et (4-3).

V.5 Incidence de l'espacement irrégulier sur les autres paramètres

V.5.1 Ecart par rapport à la fréquence centrale pour un espacement irrégulier avec décalage de fréquence

Comme mentionné au sous-paragraphe V.1, l'intervalle de fréquence minimal doit être supérieur à 20 GHz lorsqu'on choisit un débit de transmission de 10 Gbit/s. Autrement dit, la différence minimale de fréquence entre un signal optique et la puissance optique la plus proche résultant du mélange de quatre ondes doit être supérieure à 2,0 fois le débit lorsqu'il n'y a pas d'excursion de fréquence. En outre, lorsque les fréquences des signaux optiques fluctuent de Δf , la différence de fréquence est réduite de $4\Delta f$. L'écart admissible par rapport à la fréquence centrale est donc donné par:

$$\Delta f \leq \frac{f_s - 2,0 B}{4} \quad (\text{V-1})$$

où f_s est l'intervalle de fréquence.

Lorsque le débit de transmission est de 2,5 Gbit/s, l'écart admissible par rapport à la fréquence centrale est tel qu'indiqué dans le Tableau V.2.

Tableau V.2/G.692 – Ecart admissible par rapport à la fréquence centrale (2,5 Gbit/s)

Intervalle de fréquence	25	50	100
Ecart maximal par rapport à la fréquence centrale \pm GHz	4-5	11	23

V.5.2 Niveaux de puissance

L'espacement irrégulier conduira à une limite de la puissance d'entrée maximale dans la fibre. Les détails appellent un complément d'étude.

V.6 Bibliographie

- [1] FORGHIERI (F.), TACH (R.W.), CHRAPLYVY (A.R.) et MARCUSE (D.): Reduction of Four-Wave Mixing Crosstalk in WDM Systems Using Unequally Spaced Channels (*Réduction de la diaphonie due au mélange de quatre ondes dans les systèmes utilisant le multiplexage en longueur d'onde et un espacement irrégulier des canaux*), *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 6, n° 6, pp 754-756, 1994.
- [2] ODA (K.), TOBA (H.) et NOSU (K.): Long Term Laboratory Test of a Fully-Engineered 128 Channel Optical FDM Distribution System (*Essai en laboratoire à long terme d'un système de distribution optique MRF à 128 canaux conçu entièrement*), in *ECOC'93, paper TuP4.3*, pp 117-120, 1993.
- [3] KASHIWADA (T.), NAKAZATO (K.), OHNISHI (M.), KANAMORI (H.) et NISHIMURA (M.): Spectral Gain Behavior of Er-doped Fiber with Extremely High Aluminum Concentration (*Comportement du gain spectral de fibres dopées à l'erbium et comportant une concentration très élevée d'aluminium*), *OAA'93, MA6-1*, 1993.

APPENDICE VI

Préégalisation au point MPI-S

On peut effectuer une préégalisation à l'interface MPI-S afin d'augmenter les tolérances de variation de gain et de gradient de gain des amplificateurs en ligne d'un système tout en maintenant une certaine différence maximale de puissance par canal. Ceci permet alors de garantir que les paramètres nominaux de l'amplificateur et les plans de longueur d'onde ne font pas l'objet de contraintes trop sévères.

La préégalisation permet en partie de compenser la variation de gain et la pente de gain des amplificateurs si on utilise la méthode ci-après. Au point MPI-S, la puissance par canal la plus élevée est attribuée au canal pour lequel le gain de l'amplificateur de ligne est le plus faible tandis que la puissance par canal la plus faible est attribuée au canal pour lequel le gain de l'amplificateur de ligne est le plus élevé. Mis à part la spécification de la différence maximale de puissance par canal au point MPI-S, on spécifie aussi la variation de puissance dans chacun des canaux. Cette spécification qui

consiste à limiter la variation de puissance par canal est également spécifiée. Cela limite la variation de puissance au point MPI-S d'un canal donné quelconque et les plages d'affaiblissement dépendant du canal associées aux trajets optiques entre les interfaces S_1 - S_n des émetteurs et le point MPI-S. L'application la plus directe de la préégalisation correspond à la réduction des tolérances comportant une variation systématique.

Si on n'effectue pas de préégalisation, la différence de puissance par canal à l'interface d'émission MPI-S conduit à une réduction des tolérances de variation de gain et de pente de gain des amplificateurs du système. Dans ce cas, il faut donc réduire au minimum la différence de puissance par canal au point MPI-S.

APPENDICE VII

Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde

Dans le cas de la transmission unidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde, tous les canaux optiques associés à une fibre se propagent simultanément dans le même sens (voir la Figure VII.1). Dans le cas de la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde, les canaux optiques se propagent simultanément dans les deux sens le long de la fibre (voir la Figure VII.2).

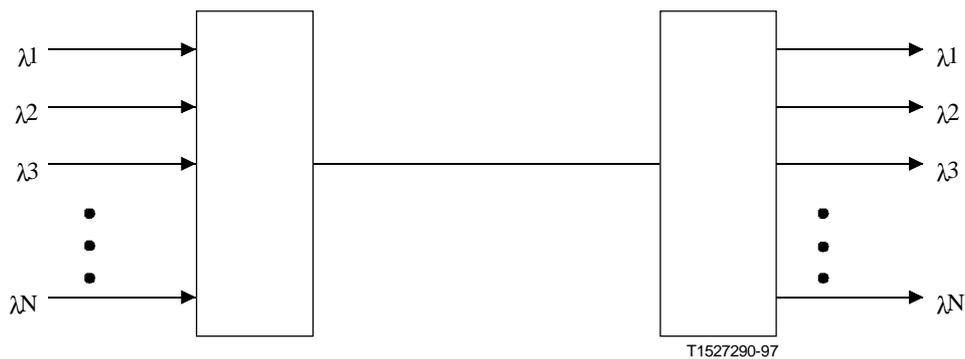


Figure VII.1/G.692 – Transmission unidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde

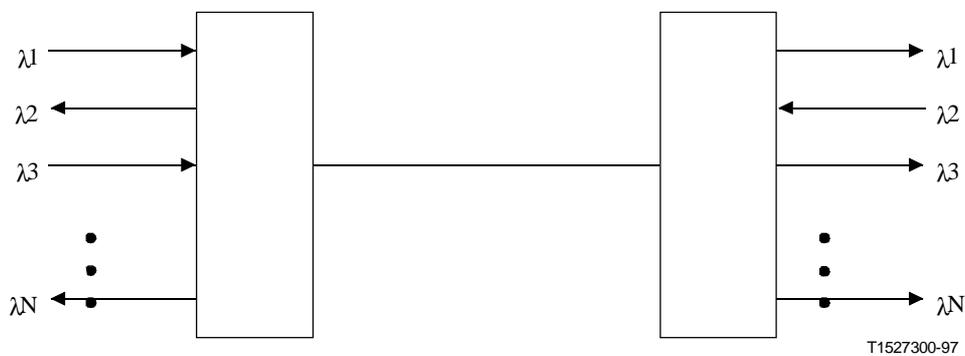


Figure VII.2/G.692 – Transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde

D'une manière générale, la mise en œuvre de la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde peut se traduire par une réduction du nombre de fibres et d'amplificateurs de ligne nécessaires par rapport aux systèmes utilisant la transmission unidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde. La transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde peut présenter un autre avantage: celui de l'amélioration de la qualité de fonctionnement concernant le mélange de quatre ondes, en particulier lorsque ce type de transmission est mis en œuvre avec des fibres G.653.

Pour la mise en œuvre de la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde, il faut tenir compte de plusieurs facteurs essentiels concernant les systèmes. Il faut faire attention aux réflexions optiques afin d'éviter le brouillage par trajets multiples. Il faut aussi prendre en considération les types de diaphonie et leurs valeurs, les niveaux de puissance et leur interdépendance pour les deux sens de transmission, la transmission du canal de surveillance optique (OSC) et la coupure automatique de la puissance. Les détails appellent un complément d'étude.

Pour une spécification complète de la transmission bidirectionnelle avec multiplexage en longueur d'onde dans la présente Recommandation, il faudra peut-être définir d'autres codes d'application, modifier la définition de certains paramètres existants et définir d'autres paramètres.

APPENDICE VIII

Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure les systèmes à 16, 32 canaux ou plus

Compte tenu des besoins du marché, le domaine d'application de la Recommandation G.692 a été étendu aux systèmes de ligne multicanaux longue distance comportant 16, 32 canaux ou plus. Cette extension a une incidence sur certains paramètres donnés dans la partie principale de la Recommandation G.692 et sur les valeurs de ces paramètres, par exemple:

- sur le nombre de fréquences nécessaires et sur leur attribution;
- sur les espacements des fréquences;
- sur les distances totales possibles;
- sur la puissance optique nominale maximale par canal,

ce qui peut conduire à des codes d'application supplémentaires.

Les fréquences centrales de canal proposées dans les Tableaux III.1 et IV.1 peuvent être utilisées pour l'attribution de 16 ou 32 canaux, par exemple:

- 16 canaux avec un espacement de 100 GHz ou de 200 GHz;
- 32 canaux avec un espacement de 100 GHz.

Outre les fréquences centrales et les espacements de fréquences, il faut définir d'autres paramètres optiques ainsi que les valeurs qui leur sont associées pour les systèmes à 16, à 32 canaux ou plus (éventuellement avec un espacement de 50 GHz); ces paramètres et ces valeurs appellent un complément d'étude.

APPENDICE IX

Extension des dispositions de la Recommandation G.692 afin d'inclure le débit STM-64

Compte tenu des besoins du marché, le domaine d'application de la Recommandation G.692 a été étendu aux systèmes multicanaux longue distance fonctionnant au débit STM-64 (10 Gbit/s). Cette extension a une incidence sur certains paramètres donnés dans la partie principale de la Recommandation G.692 et sur les valeurs de ces paramètres, par exemple:

- sur les distances totales possibles avec des systèmes multicanaux fonctionnant au débit STM-64;
- sur la technique de prise en charge de la dispersion,

ce qui peut conduire à des codes d'application supplémentaires.

Les systèmes STM-64 utilisant le multiplexage en longueur d'onde sur des fibres G.652 nécessitent une technique de prise en charge de la dispersion pour tous les codes d'application relatifs au débit STM-64.

SERIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numeriques
Série H	Systemes audiovisuels et multimédias
Série I	Reseau numerique à intégration de services
Série J	Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des reseaux: systemes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et reseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le reseau téléphonique
Série X	Reseaux pour données et communication entre systemes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information
Série Z	Langages de programmation