



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

G.957

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

**RÉSEAUX NUMÉRIQUES,
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES
DE LIGNE NUMÉRIQUE**

**INTERFACES OPTIQUES POUR LES
ÉQUIPEMENTS ET LES SYSTÈMES RELATIFS
À LA HIÉRARCHIE NUMÉRIQUE SYNCHRONES**

Recommandation G.957



Genève, 1990

AVANT-PROPOS

Le CCITT (Comité consultatif international télégraphique et téléphonique) est un organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (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.

L'Assemblée plénière du CCITT, qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études et approuve les Recommandations rédigées par ses Commissions d'études. Entre les Assemblées plénières, l'approbation des Recommandations par les membres du CCITT s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 2 du CCITT (Melbourne, 1988).

La Recommandation G.957, que l'on doit à la Commission d'études XV, a été approuvée le 14 décembre 1990 selon la procédure définie dans la Résolution n° 2.

NOTE DU CCITT

Dans cette Recommandation, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une Administration de télécommunications qu'une exploitation privée reconnue de télécommunications.

© UIT 1990

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'éditeur.

Recommandation G.957

INTERFACES OPTIQUES POUR LES ÉQUIPEMENTS ET LES SYSTÈMES RELATIFS À LA HIÉRARCHIE NUMÉRIQUE SYNCHRONE

1 Introduction

La présente Recommandation spécifie les paramètres des interfaces optiques pour les équipements et les systèmes fonctionnant selon la hiérarchie numérique synchrone (SDH) définie dans les Recommandations G.707, G.708 et G.709 et sur des fibres optiques monomodes conformes aux Recommandations G.652, G.653 et G.654.

La présente Recommandation vise à spécifier les interfaces optiques des équipements SDH décrits dans les Recommandations G.782 et G.783, ainsi que les systèmes de ligne décrits dans la Recommandation G.958, en vue d'assurer une compatibilité transversale (multiconstructeur) sur des sections de câble élémentaires, c'est-à-dire de pouvoir mélanger les équipements provenant de fabricants différents dans une section optique unique. Toutefois, les spécifications de cette Recommandation ont également été conçues de manière à être conformes avec les Recommandations G.955 et G.956 qui permettent d'assurer une compatibilité longitudinale pour les équipements ayant des niveaux hiérarchiques et des applications comparables.

La présente Recommandation est fondée sur l'utilisation d'une fibre par sens. D'autres arrangements optiques peuvent exiger des spécifications différentes et nécessitent un complément d'étude.

1.1 Abréviations

DEL	Diode électroluminescente
EX	Taux d'extinction (Extinction ratio)
MLM	Modes longitudinaux multiples
NRZ	Non retour à zéro
ORL	Affaiblissement d'adaptation optique (Optical Return Loss)
RMS	Valeur quadratique moyenne (Root-Mean-Square)
SDH	Hiérarchie numérique synchrone (Synchronous Digital Hierarchy)
SLM	Mode longitudinal unique (Single-Longitudinal Mode)
SO	Sans objet
STM	Module de transport synchrone (Synchronous Transport Module)
TEB	Taux d'erreur sur les bits
UI	Intervalle unitaire (Unit Interval)
WDM	Multiplexage par répartition en longueur d'onde (Wavelength-Division Multiplexing)

2 Classification des interfaces optiques

Il est prévu que les fibres optiques servent dans les systèmes fondés sur la hiérarchie numérique synchrone aussi bien pour le transport entre centraux entre les stations que pour les applications à l'intérieur des centraux pour relier les équipements dans une seule station. En associant de manière adéquate émetteurs et récepteurs, on peut obtenir des bilans de puissance pour les systèmes de ligne à fibres optiques optimisés du point de vue de l'atténuation/dispersion et des coûts par rapport aux diverses applications. Toutefois, afin de simplifier la mise au point de systèmes compatibles sur le plan transversal, il est souhaitable de limiter le nombre de catégories d'application et de séries correspondantes de spécifications des interfaces optiques à des fins de normalisation.

Comme il ressort du tableau 1/G.957, la présente Recommandation reconnaît trois grandes catégories d'applications:

- intrastation, ce qui correspond à des distances d'interconnexion inférieures à 2 km environ,
- interstation à courte portée, ce qui correspond à des distances d'interconnexion de 15 km environ,
- interstation à longue portée, ce qui correspond à des distances d'interconnexion de 40 km environ dans la fenêtre des 1310 nm et de 60 km environ dans la fenêtre des 1550 nm.

Dans chaque catégorie, il est possible d'envisager l'utilisation soit de sources nominales à 1310 nm sur des fibres optiques conformes à la Recommandation G.652, soit des sources nominales à 1550 nm sur des fibres optiques conformes aux Recommandations G.652, G.653 ou G.654. La présente Recommandation traite de ces deux possibilités pour les deux applications entre centraux et ne retient que les sources nominales à 1310 nm sur des fibres conformes à la Recommandation G.652 pour les applications à l'intérieur des centraux. Du fait que les caractéristiques globales du système ainsi que les valeurs spécifiques des paramètres optiques dépendent de manière générale du débit binaire du système, il est plus pratique de classer les interfaces optiques de la hiérarchie numérique synchrone en fonction des applications traitées dans la présente Recommandation en utilisant la série de codes d'application illustrée au tableau 1/G.957. Le code d'application est élaboré de la manière suivante:

Application – Niveau STM – Numéro du suffixe

les désignations de l'application étant I (intrastation), S (courte portée, S = Short-hand) ou L (longue portée, L = Long-hand) et le numéro du suffixe étant l'un des numéros suivants:

- (un blanc) ou 1 indiquant des sources de longueur d'onde nominale de 1310 nm sur des fibres conformes à la Recommandation G.652;
- 2 indiquant des sources de longueur d'onde nominale de 1550 nm sur des fibres conformes à la Recommandation G.652 pour les applications à courte portée ou G.652 ou G.654 pour les applications à longue portée;
- 3 indiquant les sources de longueur d'onde nominale de 1550 nm sur des fibres conformes à la Recommandation G.653.

TABLEAU 1/G.957

**Classification des interfaces optiques en fonction des applications,
avec indication des codes d'application**

Application		Intra-station	Interstation				
			Courte portée		Longue portée		
Longueur d'onde nominale (nm) de la source		1310	1310	1550	1310	1550	
Type de fibre		Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652 Rec. G.654	Rec. G.653
Distance (km) ^{a)}		≤ 2	~ 15		~ 40	~ 60	
Niveau STM	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3

a) Ces distances servent au classement et non à la spécification.

Les distances choisies pour les codes d'application indiqués au tableau 1/G.957 sont fondées sur des valeurs de paramètres réalisables grâce à la technologie actuelle et qui devraient correspondre aux spécifications des réseaux. Les codes d'application intrastation et interstation à courte portée sont proposés en tant que formes de mise en œuvre peu onéreuses. Les codes d'application à longue portée ont été proposés pour obtenir des portées de régénération maximales, compatibles avec les limites imposées par les techniques actuelles et avec l'objectif de compatibilité transversale. Les distances proposées devraient permettre de perfectionner les systèmes actuels en exploitant la région des 1550 nm. Les distances indiquées au tableau 1/G.957 représentent des portées de régénération maximales approximatives. Les limites spécifiques de distance compatibles avec les limites d'atténuation indiquées dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957, mais comprenant des allocations pour des connecteurs supplémentaires ou des marges, peuvent être dérivées en tenant compte des valeurs d'atténuation et de dispersion maximales de la fibre pour chaque application dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957.

3 Définitions des paramètres

Aux fins de la présente Recommandation, les interfaces des systèmes de ligne à fibres optiques peuvent être représentées comme illustré à la figure 1/G.957. On trouvera dans la Recommandation G.958 des configurations de référence plus spécifiques qui relient les spécifications de la présente Recommandation aux systèmes de ligne à fibres optiques fondés sur la hiérarchie numérique synchrone. A la figure 1/G.957, le point S est un point de référence sur la fibre optique juste après le connecteur optique (C_{TX}) de l'émetteur et le point R est un point de référence sur la fibre optique juste avant le connecteur optique (C_{RX}) du récepteur. On considère que des connecteurs supplémentaires dans un répartiteur (le cas échéant) font partie de la liaison à fibres optiques et sont situés entre les points S et R. Dans la présente Recommandation, les paramètres optiques sont spécifiés pour l'émetteur au point S, pour le récepteur au point R et pour le conduit optique entre les points S et R.

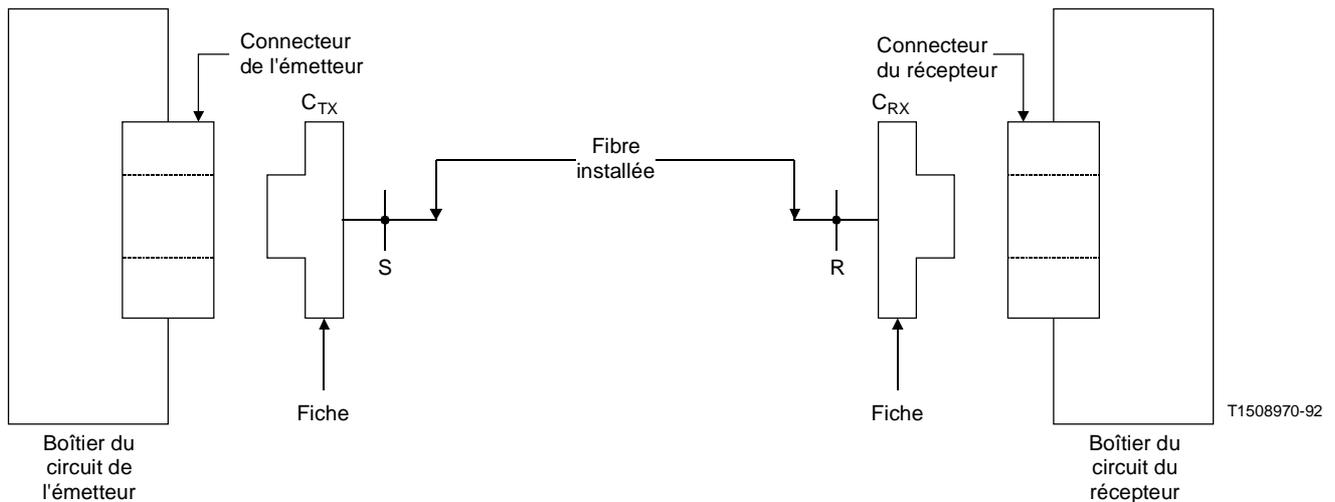


FIGURE 1/G.957

Toutes les valeurs de paramètre spécifiées correspondent aux cas les plus défavorables, censés correspondre à l'ensemble des conditions de fonctionnement spécifiées (par exemple gammes de température et d'humidité) et comprennent les effets dus au vieillissement. Ces conditions et effets doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Les paramètres sont spécifiés par rapport à un objectif de conception de section optique ayant un taux d'erreur binaire (TEB) en aucun cas supérieur à 1×10^{-10} pour le cas extrême d'atténuation et de dispersion du conduit optique dans chaque application du tableau 1/G.957.

Le codage en ligne optique utilisé pour toutes les interfaces du système est un codage non retour à zéro binaire, embrouillé conformément à la Recommandation G.709.

3.1 Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement du système

Afin d'avoir une certaine souplesse pour la mise en œuvre de systèmes permettant la compatibilité transversale et pour l'utilisation future du multiplexage par répartition en longueurs d'onde (WDM), il est souhaitable que l'éventail de longueurs d'onde de fonctionnement du système soit aussi large que possible. Le choix d'une gamme de longueurs d'onde de fonctionnement pour chacune des applications du tableau 1/G.957 dépend de plusieurs facteurs, dont le type de fibre, les caractéristiques de la source, la gamme d'atténuation du système et la dispersion du conduit optique. Les considérations générales ci-après touchent à la spécification des gammes de longueurs d'onde de fonctionnement de la présente Recommandation. On trouvera dans l'annexe A une description plus détaillée des aspects système utilisés pour élaborer des spécifications de la gamme de longueurs d'onde de fonctionnement dans cette Recommandation.

Les régions de longueurs d'onde qui permettent l'exploitation du système sont en partie déterminées soit par les valeurs de longueur d'onde de coupure de la fibre ou du câble à fibres. Pour les fibres conformes aux Recommandations G.652 et G.653, ces valeurs ont été choisies de manière à permettre un fonctionnement unimode du câble à fibres à 1270 nm et au-dessus, des valeurs jusqu'à 1260 nm étant autorisées par certaines administrations. Pour les câbles à fibres conformes à la Recommandation G.654, des valeurs de longueur d'onde de coupure ont été proposées pour un fonctionnement unimode à 1525 nm (à titre provisoire) et au-dessus.

Les régions de longueurs d'onde admissibles sont en outre définies par l'affaiblissement de la fibre. Bien que l'atténuation intrinsèque due à la diffusion diminue en général lorsque la longueur d'onde augmente, l'absorption des ions hydroxyle (OH⁻) peut se manifester au voisinage de 1385 nm et dans une plus faible mesure au voisinage de 1245 nm. Ces crêtes d'absorption et la longueur d'onde de coupure définissent en conséquence une région de longueurs d'onde centrée au voisinage de 1310 nm. Des fibres à dispersion non décalée conformes à la Recommandation G.652 sont optimisées pour être utilisées dans cette région de longueurs d'onde. Pour des longueurs d'onde supérieures, il se produit une atténuation due à la courbure au voisinage de 1600 nm ou plus, et l'absorption infrarouge se produit au-delà de 1600 nm. Ces atténuations ainsi que la crête à 1385 nm (eau) définissent en conséquence une seconde région de longueurs d'onde de fonctionnement au voisinage de 1550 nm. La Recommandation G.654 pour les fibres optimisées du point de vue de l'affaiblissement est limitée à cette région uniquement. Toutefois, les fibres conformes à la Recommandation G.652 et à dispersion décalée conformes à la Recommandation G.653 peuvent être utilisées dans cette région.

Outre la longueur d'onde de coupure et l'atténuation qui déterminent les grandes régions de longueurs d'onde de fonctionnement, les gammes de longueurs d'onde admises sont déterminées par l'interaction entre l'atténuation des fibres et les caractéristiques spectrales de l'émetteur. Des parties de cette gamme peuvent se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur de la gamme de longueurs d'onde déterminée par l'atténuation. Le chevauchement des deux gammes donne la gamme de longueurs d'onde admissibles pour le fonctionnement du système.

Remarque – Les experts en fibres et câbles doivent encore confirmer si les gammes de longueur d'onde indiquées dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957 peuvent être atteintes dans le cadre des Recommandations G.652, G.653 et G.654 actuelles.

3.2 *Emetteur*

3.2.1 *Type de source nominale*

Selon les caractéristiques d'atténuation/dispersion et le niveau hiérarchique de chaque application du tableau 1/G.957, les dispositifs utilisables pour les émetteurs sont notamment les diodes électroluminescentes (DEL), les lasers à modes longitudinaux multiples (MLM) et des lasers à mode longitudinal unique (SLM). Pour chacune des applications, la présente Recommandation indique un type de source nominale. Il est entendu que l'indication dans la présente Recommandation d'un type de source nominale ne constitue pas une spécification et que les dispositifs en mode longitudinal unique (SLM) peuvent être utilisés pour n'importe quelle application pour laquelle une DEL ou un MLM est le type de source nominale et les dispositifs MLM peuvent être utilisés pour n'importe quelle application pour laquelle le type de source nominale est une DEL sans que l'on constate une dégradation quelconque de la qualité de fonctionnement du système.

3.2.2 *Largeur spectrale*

Pour les DEL et les lasers MLM, la largeur spectrale est spécifiée par la largeur efficace maximale (moyenne quadratique moyenne maximale de la largeur) dans les conditions de fonctionnement. Par largeur ou valeur RMS on entend l'écart-type (σ) de la distribution spectrale. La méthode de mesure des largeurs RMS doit tenir compte des modes qui sont inférieurs de 20 à 30 dB au mode de crête et nécessite un complément d'étude.

Pour les lasers à mode longitudinal unique, la largeur spectrale maximale est spécifiée par la largeur maximale totale de la crête à la longueur d'onde centrale, mesurée 20 dB en dessous de l'amplitude maximale de la longueur d'onde centrale dans les conditions de fonctionnement spécifiées. En outre, pour le contrôle du bruit de partition de modes dans les systèmes en mode longitudinal unique, il est spécifié une valeur minimale du rapport de suppression du mode latéral du laser.

Actuellement, il n'existe pas de méthode convenue fiable d'estimation des pénalités de dispersion dues aux variations de longueur d'onde d'émission («chirp») du laser et à l'influence du mode latéral pour les lasers en mode longitudinal unique. Pour cette raison les largeurs spectrales des lasers SLM et les valeurs maximales de dispersion des fibres pour les applications L-4.2, S-16.2, L-16.2 et L-16.3 sont à l'étude.

On reconnaît actuellement la nécessité de spécifier le cas échéant les caractéristiques dynamiques des lasers de manière plus précise, en particulier pour les systèmes à longue portée, y compris les méthodes de mesure associées. Une méthode possible est un essai de transmission sur fibre. La configuration de l'essai se compose de l'émetteur soumis aux essais, de fibres d'essai ayant la dispersion maximale spécifiée pour la longueur maximale du système, et d'un récepteur de référence. Les caractéristiques dynamiques de l'émetteur peuvent alors être évaluées à l'aide d'une mesure du taux d'erreur. Cette méthode, ainsi que d'autres permettant de caractériser les qualités dynamiques du laser, doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

3.2.3 Puissance moyenne injectée

La puissance moyenne injectée au point de référence S est la puissance moyenne d'une séquence de données pseudo-aléatoires couplée dans la fibre par l'émetteur. Elle est donnée sous forme de plage pour permettre une certaine optimisation des coûts, des tolérances correspondant à l'ensemble des conditions de fonctionnement, des dégradations du connecteur de l'émetteur, des tolérances de mesures et des effets du vieillissement. Ces valeurs permettent de calculer les valeurs de la sensibilité et du point de saturation du récepteur au point de référence R.

La possibilité d'obtenir des conceptions de systèmes économiques pour des applications à longue portée en utilisant des lasers non refroidis de puissances moyennes injectées supérieures à celles des tableaux 2/G.957 à 4/G.957, exigeant des atténuateurs optiques externes amovibles dans les sections à faible affaiblissement, nécessite un complément d'étude.

En cas de défaillance de l'équipement d'émission, la puissance injectée ainsi que le temps d'exposition maximal possible subi par le personnel devraient être limités pour des raisons de sécurité tenant aux fibres optiques/laser, conformément à [1].

3.2.4 Taux d'extinction

La convention adoptée pour le niveau logique optique est la suivante:

- émission de lumière pour un «1» logique,
- pas d'émission pour un «0» logique.

Le taux d'extinction (*EX*) est défini comme suit:

$$EX = 10 \log_{10} (A/B)$$

A étant le niveau de puissance optique moyen pour un «1» logique et *B* étant le niveau de puissance optique moyen pour un «0» logique. Les méthodes de mesure applicables au taux d'extinction sont à l'étude.

3.2.5 Gabarit du diagramme de l'œil

Dans la présente Recommandation, les caractéristiques de la forme générale de l'impulsion de l'émetteur comprenant temps de montée, temps de descente, suroscillation de l'impulsion, sous-oscillation de l'impulsion et oscillation parasite, qui toutes devraient être contrôlées pour prévenir une dégradation excessive de la sensibilité du récepteur, sont spécifiées sous forme d'un gabarit du diagramme de l'œil de l'émetteur au point S. Pour évaluer le signal d'émission, il importe de tenir compte non seulement de l'ouverture du diagramme de l'œil, mais également des limites dues à la suroscillation et la sous-oscillation. Les paramètres spécifiant le gabarit du diagramme de l'œil de l'émetteur sont illustrés à la figure 2/G.957. L'appendice I traite des dispositifs de mesure pour déterminer le diagramme de l'œil du signal d'émission optique.

3.3 Conduit optique

Afin d'assurer une qualité de fonctionnement satisfaisante du système pour chacune des applications envisagées au tableau 1/G.957, il est nécessaire de spécifier les caractéristiques d'atténuation et de dispersion du conduit optique entre les points de référence S et R.

3.3.1 Atténuation

Dans la présente Recommandation, l'atténuation pour chaque application est spécifiée sous forme de gamme, caractéristique des principales distances correspondant aux applications indiquées au tableau 1/G.957. Toutefois, pour que la mise en œuvre de systèmes offrant la compatibilité transversale bénéficie d'une certaine souplesse, la présente Recommandation reconnaît un certain chevauchement entre les gammes d'atténuation des applications intrastations et des applications à courte portée ainsi qu'entre les applications interstations à courte et à longue portée. Les spécifications de l'atténuation sont supposées être les valeurs correspondant aux cas les plus défavorables, y compris les pertes dues aux épissures, aux connecteurs, aux atténuateurs optiques (le cas échéant), ou à d'autres dispositifs optiques passifs ainsi que toute autre marge pour les câbles supplémentaires destinée à tenir compte:

- 1) des modifications futures apportées à la configuration des câbles (épissures supplémentaires, accroissement des longueurs de câble, etc.),
- 2) des variations de qualité des câbles à fibres dues à des facteurs relevant de l'environnement, et
- 3) de la dégradation des connecteurs, des atténuateurs optiques (le cas échéant), ou de tout autre dispositif optique passif entre les points S et R, s'ils existent.

3.3.2 *Dispersion*

Des valeurs maximales de dispersion (ps/nm) sont spécifiées aux tableaux 2/G.957 à 4/G.957 pour les systèmes considérés comme limités par la dispersion. Ces valeurs sont cohérentes avec les pénalités maximales dues au conduit optique spécifiées (c'est-à-dire 2 dB pour L-16.2, 1 dB pour toutes les autres applications). Elles tiennent compte du type d'émetteur spécifié ainsi que du coefficient de dispersion dans les fibres sur toute la gamme de longueurs d'onde de fonctionnement.

Les systèmes considérés comme limités par l'atténuation n'ont pas de valeurs maximales de dispersion spécifiées et figurent aux tableaux 2/G.957 à 4/G.957 avec l'indication SO (sans objet) dans la ligne correspondante.

3.3.3 *Réflexions*

Les réflexions sont provoquées par les discontinuités de l'indice de réfraction le long du conduit optique. Si ces réflexions ne sont pas contrôlées, elles peuvent détériorer la qualité de fonctionnement du système en ayant un effet perturbateur sur le fonctionnement du laser ou par des réflexions multiples qui aboutissent à un bruit interférométrique au récepteur. Dans la présente Recommandation, les réflexions à partir du conduit optique sont contrôlées en spécifiant:

- l'affaiblissement d'adaptation optique minimal de l'installation en câble au point S, y compris tous les connecteurs, et
- la réflectance discrète maximale entre les points S et R.

Les effets possibles de réflexions en cas d'utilisation de coupleurs directionnels sur une seule fibre n'ont pas été considérés dans la présente Recommandation; ils seront étudiés ultérieurement.

Les méthodes de mesure pour les réflexions sont décrites dans l'appendice II. En ce qui concerne les mesures de la réflectance et de l'affaiblissement d'adaptation, les points S et R sont censés coïncider avec l'extrémité de chaque fiche de connecteur (voir la figure 1/G.957). L'on reconnaît que cette méthode n'inclut pas la vraie valeur de réflexion des connecteurs du système en service. Ces réflexions sont censées avoir la valeur nominale de la réflexion correspondant au type spécifique de connecteur employé.

Le nombre maximal de connecteurs ou d'autres points de réflexion discrète pouvant être inclus dans le conduit optique (par exemple pour des répartiteurs ou pour des composants WDM) doit être tel que l'on puisse obtenir l'affaiblissement d'adaptation global optique spécifié. Si cela n'est pas possible avec des connecteurs ayant des réflexions discrètes maximales indiquées dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957, il convient d'employer des connecteurs ayant un meilleur taux de réflexion. Une autre possibilité est de réduire le nombre de connecteurs. Il peut être également nécessaire de limiter le nombre de connecteurs ou d'utiliser des connecteurs ayant des facteurs de réflexion améliorés afin d'éviter une dégradation inacceptable due à des réflexions multiples. Ces effets peuvent revêtir une importance particulière pour les systèmes à longue portée STM-16 et STM-4.

Dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957, la valeur de réflectance discrète maximale (−27 dB) entre les points S et R vise à minimiser les effets des réflexions multiples (par exemple le bruit interférométrique). Dans les tableaux 3/G.957 et 4/G.957, la valeur de réflectance maximale du récepteur (−27 dB) permet d'obtenir des pénalités imputables aux réflexions multiples acceptables pour toutes les configurations de systèmes vraisemblables faisant intervenir des connecteurs multiples etc. Les systèmes employant un nombre inférieur de connecteurs ou des connecteurs de meilleure qualité produisent moins de réflexions multiples et sont donc en mesure de tolérer des récepteurs ayant une réflectance supérieure. A titre d'exemple extrême, s'il n'y a que deux connecteurs dans le système, un affaiblissement d'adaptation du récepteur de 14 dB est acceptable.

Pour les systèmes dans lesquels les effets dus à la réflexion ne sont pas considérés comme limitant la qualité de fonctionnement, aucune valeur n'est spécifiée pour les paramètres de réflexion associés et cela est indiqué dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957 par l'inscription SO (sans objet). Toutefois, lorsque l'on utilise la présente Recommandation pour une application donnée, il convient de noter que si l'on envisage une évolution vers d'autres applications ayant des caractéristiques plus contraignantes, il convient d'utiliser dans ce cas ces caractéristiques.

Le besoin d'élaborer une spécification concernant le rapport signal/bruit de l'émetteur dans les conditions les plus défavorables d'affaiblissement de réflexion pour les tableaux 2/G.957 à 4/G.957 est pour étude ultérieure.

3.4 *Récepteur*

L'exploitation adéquate du système exige la spécification de la sensibilité minimale du récepteur ainsi qu'un niveau de puissance de saturation minimal. Ces valeurs doivent être cohérentes avec la gamme de puissance moyenne injectée et avec la gamme d'atténuation spécifiée pour chaque application.

3.4.1 *Sensibilité du récepteur*

La sensibilité du récepteur est définie comme la valeur minimale acceptable de puissance moyenne reçue au point R pour obtenir un TEB de 1×10^{-10} . Elle tient compte des pénalités de puissance dues à l'utilisation d'un émetteur dans les conditions de fonctionnement spécifiées, avec des valeurs de taux d'extinction, de temps de montée et de temps de descente de l'impulsion, d'affaiblissement d'adaptation optique au point S, des dégradations du connecteur du récepteur et des tolérances de mesure correspondant au cas le plus défavorable. La sensibilité du récepteur ne comprend pas les pénalités de puissance liées à la dispersion, à la gigue ou aux réflexions dues au conduit optique; ces effets sont spécifiés à part dans l'attribution d'une pénalité maximale due au conduit optique. Les effets dus au vieillissement ne sont pas spécifiés à part, du fait qu'il s'agit bien là d'une question à régler entre le fournisseur de réseau et le fabricant de l'équipement. Il est souhaité que les marges typiques entre un récepteur optique en début de vie et à température nominale, et le même récepteur optique en fin de vie et dans le cas le plus défavorable, se situent dans la gamme des 2 à 4 dB. On trouvera à l'appendice III un exemple de méthode de mesure permettant de déterminer l'effet du vieillissement sur la sensibilité du récepteur.

3.4.2 *Saturation du récepteur*

Le niveau de saturation du récepteur est la valeur maximale acceptable de la puissance moyenne reçue au point R pour un TEB de 1×10^{-10} . On notera que l'utilisation d'un atténuateur optique placé devant le récepteur peut être nécessaire pour éviter la saturation du récepteur.

3.4.3 *Réflectance du récepteur*

Les réflexions provenant du récepteur et retournant vers le câble sont spécifiées par une réflectance admissible du récepteur mesurée au point de référence R.

3.4.4 *Pénalité de puissance due au conduit optique*

Le récepteur doit tolérer une pénalité due au conduit optique ne dépassant pas 1 dB (2 dB pour L-16.2) pour tenir compte des dégradations totales imputables aux réflexions, à l'interférence entre les symboles, au bruit de partition et aux variations de longueur d'onde d'émission du laser («chirp»).

4 **Valeurs des paramètres optiques pour les applications SDH**

Les valeurs des paramètres optiques pour les applications du tableau 1/G.957 sont indiquées dans le tableau 2/G.957 pour STM-1, le tableau 3/G.957 pour STM-4 et dans le tableau 4/G.957 pour STM-16. Les paramètres définissant le gabarit du diagramme de l'œil de l'émetteur au point de référence S pour chacun des 3 niveaux hiérarchiques sont indiqués à la figure 2/G.957. Ces tableaux n'interdisent pas l'utilisation de systèmes qui satisfont aux spécifications de plus d'une application à un débit donné.

TABLEAU 2/G.957

Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-1

	Unité	Valeurs									
Signal numérique		STM-1 selon les Recommandations G.707 et G.958									
Débit binaire nominal	kbit/s	155 520									
Code d'application (tableau 1/G.957)		I-1	S-1.1	S-1.2		L-1.1		L-1.2	L-1.3		
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement ^{a)}	nm	1260-1360	1260-1360	1430-1569	1430-1580	1280-1335		1480-1580	1534-1566/ 1508-1580	1480-1580	
Emetteur au point de référence S		MLM	DEL	MLM	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	MLM	SLM
Type de source											
Caractéristiques spectrales											
– largeur RMS maximale (σ)	nm	40	80	7,7	2,5	–	4	–	–	4/2,5	–
– largeur maximale à –20 dB	nm	–	–	–	–	1	–	1	1	–	1
– rapport de suppression minimal du mode latéral	dB	–	–	–	–	30	–	30	30	–	30
Puissance injectée moyenne											
– maximale	dBm	–8		–8		–8		0		0	
– minimale	dBm	–15		–15		–15		–5		–5	
Taux d'extinction minimal	dB	8,2		8,2		8,2		10		10	
Conduit optique entre S et R											
Gamme d'atténuation	dB	0-7		0-12		0-12		10-28		10-28	
Dispersion maximale	ps/nm	SO		96		296	SO	SO	SO	185/296	SO
Affaiblissement d'adaptation optique minimal du câble à S, y compris tous les connecteurs	dB	SO		SO		SO		SO		20	SO
Réflectance discrète maximale entre S et R	dB	SO		SO		SO		SO		–25	SO
Récepteur au point de référence R											
Sensibilité minimale	dBm	–23		–28		–28		–34		–34	–34
Saturation minimale	dBm	–8		–8		–8		–10		–10	–10
Pénalité maximale due au conduit optique	dB	1		1		1		1		1	1
Réflectance maximale du récepteur, mesurée à R	dB	SO		SO		SO		SO		–25	SO

a) Valeurs provisoires.

TABLEAU 3/G.957

Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-4

	Unité	Valeurs						
Signal numérique		STM-4 selon les Recommandations G.707 et G.958						
Débit binaire nominal	kbit/s	622 080						
Code d'application (tableau 1/G.957)		I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1		L-4.2	L-4.3
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement ^{a)}	nm	1260-1360	1291-1333/ 1273-1355	1430-1580	1298-1325/ 1294-1329	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Emetteur au point de référence S								
Type de source		MLM	DEL	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM
Caractéristiques spectrales								
– largeur RMS maximale (σ)	nm	14,5	35	4/2,5	–	2,0/1,7	–	–
– largeur maximale à –20 dB	nm	–	–	–	1	–	1	< 1 ^{b)}
– rapport de suppression minimal du mode latéral	dB	–	–	–	30	–	30	30
Puissance injectée moyenne								
– maximale	dBm	–8	–8	–8	–8	+2	+2	+2
– minimale	dBm	–15	–15	–15	–15	–3	–3	–3
Taux d'extinction minimal	dB	8,2	8,2	8,2	8,2	10	10	10
Conduit optique entre S et R								
Gamme d'atténuation	dB	0-7		0-12	0-12	10-24		10-24
Dispersion maximale	ps/nm	13	SO	46/74	SO	92/109	SO	10-24 ^{b)}
Affaiblissement d'adaptation optique minimal du câble à S, y compris tous les connecteurs	dB	SO		SO	24	20		24
Réflectance discrète maximale entre S et R	dB	SO		SO	–27	–25		–27
Récepteur au point de référence R								
Sensibilité minimale	dBm	–23		–28	–28	–28		–28
Saturation minimale	dBm	–8		–8	–8	–8		–8
Pénalité maximale due au conduit optique	dB	1		1	1	1		1
Réflectance maximale du récepteur, mesurée à R	dB	SO		SO	–27	–14		–27

a) Valeurs provisoires.

b) Voir le § 3.2.2.

TABLEAU 4/G.957

Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-16

	Unité	Valeurs					
Signal numérique		STM-16 selon les Recommandations G.707 et G.958					
Débit binaire nominal	kbit/s	2 488 320					
Code d'application (tableau 1/G.957)		I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement ^{a)}	nm	1265-1360	1260-1360	1430-1580	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Emetteur au point de référence S							
Type de source		MLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Caractéristiques spectrales							
– largeur RMS maximale (σ)	nm	4	–	–	–	–	–
– largeur maximale à –20 dB	nm	–	1	< 1 ^{b)}	1	< 1 ^{b)}	< 1 ^{b)}
– rapport de suppression minimal du mode latéral	dB	–	30	30	30	30	30
Puissance injectée moyenne							
– maximale	dBm	–3	0	0	0	+1	0
– minimale	dBm	–10	–5	–5	–5	–4	–5
Taux d'extinction minimal	dB	8,2	8,2	8,2	10	8,2	10
Conduit optique entre S et R							
Gamme d'atténuation	dB	0-7	0-12	0-12	10-20	10-20	10-20
Dispersion maximale	ps/nm	12	SO	^{b)}	SO	1220 ^{b)}	^{b)}
Affaiblissement d'adaptation optique minimal du câble à S, y compris tous les connecteurs	dB	24	24	24	24	24	24
Réflectance discrète maximale entre S et R	dB	–27	–27	–27	–27	–27	–27
Récepteur au point de référence R							
Sensibilité minimale	dBm	–18	–18	–18	–26	–26	–26
Saturation minimale	dBm	–3	0	0	–10	–9	–10
Pénalité maximale due au conduit optique	dB	1	1	1	1	2	1
Réflectance maximale du récepteur, mesurée à R	dB	–27	–27	–27	–27	–27	–27

^{a)} Valeurs provisoires.

^{b)} Voir le § 3.2.2.

5 Méthode d'ingénierie optique

Le choix d'applications et d'ensembles de paramètres optiques visé par la présente Recommandation reflète un équilibre entre des considérations d'ordre économique et technique permettant d'assurer la compatibilité transversale des systèmes utilisant la hiérarchie numérique synchrone. Le présent paragraphe décrit l'utilisation des paramètres des tableaux 2/G.957 à 4/G.957 pour obtenir une méthode commune de conception de systèmes pour l'ingénierie des liaisons optiques de la hiérarchie numérique synchrone.

5.1 *Hypothèses de conception*

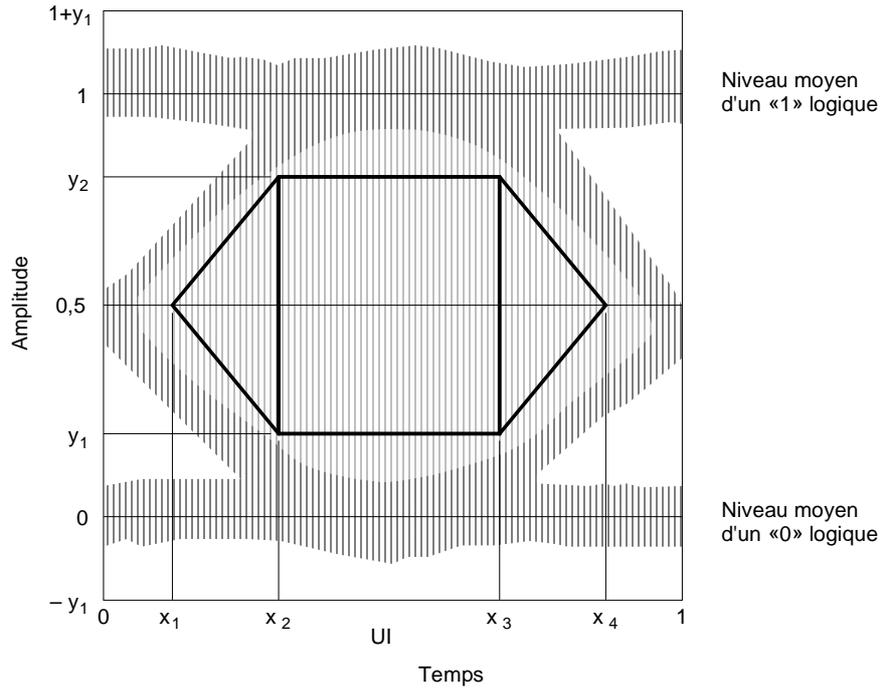
Afin d'obtenir le plus grand nombre de possibilités d'applications avec le plus petit nombre de spécifications de composants d'interfaces optiques, on suppose trois catégories d'interfaces pour chaque niveau de la hiérarchie numérique synchrone. Ces catégories se différencient par des régimes différents d'atténuation/dispersion plutôt que par des contraintes explicites en matière de distance afin de bénéficier d'une plus grande souplesse dans la conception du réseau tout en tenant compte des contraintes techniques et des coûts pour les diverses applications.

Les valeurs de paramètres correspondant aux cas les plus défavorables qui sont spécifiés dans la présente Recommandation visent à donner des directives de conception simples aux planificateurs de réseau et des spécifications de composants explicites aux constructeurs. C'est la raison pour laquelle il n'est pas spécifié de marges non allouées ou de marges équipement et on suppose que les émetteurs, les récepteurs et les installations en câble répondent individuellement aux spécifications pour l'ensemble de leurs conditions de fonctionnement spécifiées. On reconnaît, dans certains cas, que cela peut aboutir à des conceptions de systèmes plus conservatoires que celles que l'on pourrait obtenir avec une ingénierie commune de la liaison optique, l'utilisation de méthodes de conception statistiques, ou en imposant des applications et des environnements plus contraints que ceux correspondant aux conditions de fonctionnement spécifiées.

5.2 *Méthode de conception du cas le plus défavorable*

Dans la méthode de conception du cas le plus défavorable, les paramètres optiques des tableaux 2/G.957 à 4/G.957 sont liés, comme illustré à la figure 3/G.957. Dans les applications limitées par l'affaiblissement, un intégrateur de système peut déterminer le code d'application approprié ainsi que le jeu de paramètres optiques correspondant en fixant d'abord l'atténuation totale du conduit optique, qui devrait comprendre toutes les causes d'affaiblissement de puissance optique ainsi que toute marge de conception de câble spécifiée par l'intégrateur de système. Pour les situations dans lesquelles l'atténuation du système se situe dans la région de recouvrement des atténuations de deux applications, l'un ou l'autre des ensembles de paramètres optiques pourrait s'appliquer. Les conceptions les plus économiques correspondront en général au code d'application ayant la gamme d'atténuation la plus faible. Pour chaque installation, il convient de vérifier que la pénalité totale due au conduit optique, qui comprend les dégradations combinées de la dispersion et de la réflexion, ne dépasse pas la valeur indiquée au § 3.4.4 et aux tableaux 2/G.957 à 4/G.957 du fait qu'une valeur supérieure peut aboutir à une dégradation rapide de la qualité de fonctionnement du système.

Pour les systèmes limités par la dispersion, l'intégrateur de système peut choisir un code d'application approprié ainsi qu'un jeu de paramètres optiques correspondant en déterminant la dispersion totale (ps/nm) prévue pour la section élémentaire de câble à concevoir. La conception la plus économique correspond en général à la sélection de l'application dont la valeur maximale de dispersion est la plus faible tout en étant égale ou supérieure à la valeur de dispersion déterminée pour la conception du système. Là encore, la pénalité de puissance totale due au conduit optique devrait être vérifiée comme décrit ci-dessus.



	STM-1	STM-4
X_1/X_4	0,15/0,85	0,25/0,75
X_2/X_3	0,35/0,65	0,40/0,60
Y_1/Y_2	0,20/0,80	0,20/0,80

	STM-16
$X_3 - X_2$	0,2
Y_1/Y_2	0,25/0,75

Remarque – Dans le cas du STM-16, X_2 et X_3 du gabarit rectangulaire du diagramme de l'œil ne doivent pas nécessairement être équidistants par rapport aux axes verticaux à 0 UI et à 1 UI. L'ampleur de cet écart doit faire l'objet d'un complément d'étude. En raison des fréquences mises en jeu dans les systèmes STM-16 et de la difficulté de réalisation de ce filtre qui en résulte, les valeurs des paramètres pour le STM-16 peuvent avoir besoin d'une légère révision à la lumière de l'expérience.

FIGURE 2/G.957

Gabarit du diagramme de l'œil du signal optique d'émission

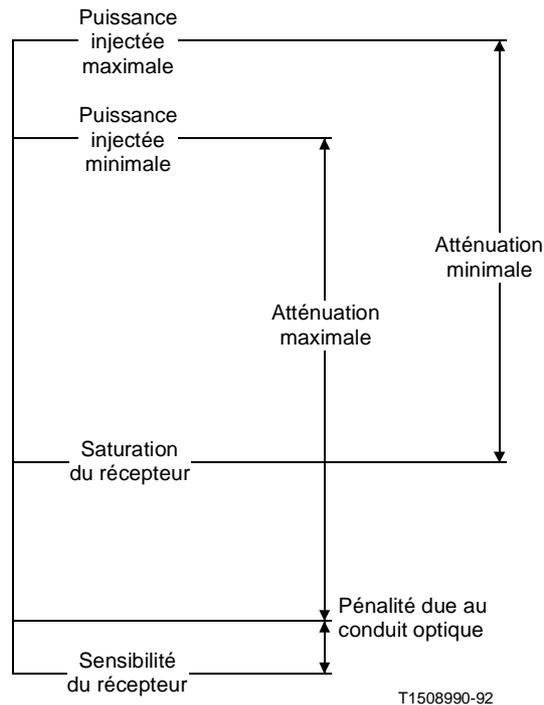


FIGURE 3/G.957

5.3 Méthode de conception statistique

La méthode statistique est fondée sur la conception d'une section élémentaire de câble améliorée, dépassant éventuellement la longueur de section obtenue avec une conception du cas le plus défavorable. Si l'on admet une certaine probabilité que l'atténuation ou la dispersion entre S et R soient plus grandes que les valeurs spécifiées pour le système, ou qu'une conception offrant la compatibilité transversale ne puisse être obtenue, on peut réaliser des économies dans la conception de systèmes optiques haut débit à longue portée en réduisant le nombre de répéteurs.

Lorsque l'on utilise la méthode statistique, les paramètres des sous-systèmes sont exprimés en fonction de leurs distributions statistiques, que l'on suppose pouvoir se procurer auprès des fabricants. Ces distributions peuvent être traitées soit numériquement (par exemple méthodes de Monte Carlo) ou analytiquement (par exemple moyennes gaussiennes et écarts types).

On trouvera cidessous des exemples de paramètres pouvant être considérés comme statistiques de par leur nature:

- atténuation du câble;
- longueur d'onde de dispersion nulle du câble et pente de la courbe de dispersion à cet endroit;
- pertes dues aux épissures et aux connecteurs;

- caractéristiques spectrales de l'émetteur (longueur d'onde centrale, largeur spectrale, etc.);
- gain de système disponible entre les points S et R (par exemple puissance optique disponible au point S et sensibilité du récepteur au point R. Il faudra peut-être considérer ces paramètres séparément à des fins de compatibilité transversale).

Conformément aux pratiques en matière de conception, chacun des paramètres indiqués cidessus peut être considéré soit du point de vue statistique, soit du point de vue du cas le plus défavorable. Dans une méthode semi-statistique, on pourra donner, aux paramètres censés être déterministes, une distribution à largeur nulle au voisinage de la valeur correspondant au cas le plus défavorable. On trouvera de plus amples détails dans les Recommandations G.955 et G.956.

5.4 *Considérations relatives aux possibilités d'évolution*

Il existe deux possibilités d'évolution des systèmes:

- 1) on peut vouloir passer des systèmes plésiochrones existants aux systèmes à hiérarchie numérique synchrone (par exemple passer d'un système à 139 264 kbit/s conforme à la Recommandation G.956 à un système STM-1 fondé sur la présente Recommandation);
- 2) on peut vouloir passer d'un niveau hiérarchique SDH à un autre (par exemple passer d'un STM-1 à un STM-4).

Il n'est pas toujours possible de satisfaire simultanément ces deux souhaits pour les applications à longue portée, et les points de vue divergent en ce qui concerne la meilleure méthode à adopter pour faire évoluer les systèmes. Par exemple, pour maintenir la compatibilité avec des systèmes à 139 264 kbit/s et $4 \times 139\,264$ kbit/s conformes à la Recommandation G.956, les valeurs maximales d'atténuation pour les applications à longue portée STM-1 et STM-4 dans la présente Recommandation sont fixées à 28 dB et à 24 dB respectivement. La différence d'atténuation maximale pour ces 2 niveaux tient compte de la disponibilité générale actuelle des récepteurs STM-4 ayant une sensibilité correspondant à la valeur d'atténuation la plus faible, alors que les récepteurs STM-4 ayant une sensibilité permettant la valeur d'atténuation la plus élevée ont un coût relativement élevé.

On trouvera dans l'appendice IV deux exemples de mise en œuvre d'évolution. Par ailleurs, le § 4.3 de la Recommandation G.958 porte sur la question de l'ingénierie conjointe permettant non seulement de répondre aux spécifications relatives à l'évolution, mais à tous les cas dans lesquels les spécifications des interfaces de la Recommandation G.957 ne permettent pas de répondre aux besoins d'une application particulière.

ANNEXE A

(à la Recommandation G.957)

Considérations relatives à la longueur d'onde de fonctionnement du système

La présente annexe donne des renseignements sur le choix de la gamme de longueurs d'onde de fonctionnement spécifiées dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957.

A.1 *Gammes de longueurs d'onde de fonctionnement déterminées par l'atténuation de la fibre*

La forme générale du coefficient d'atténuation des câbles à fibres posés, utilisée dans cette Recommandation, est illustrée par la figure A-1/G.957. Les pertes dues aux épissures de raccordement à la pose, aux épissures de réparation et à l'influence de la gamme de température de fonctionnement sont incluses. La Recommandation G.652

indique que des valeurs d'atténuation dans la gamme 0,3-0,4 dB/km ont été obtenues dans la région des 1310 nm, et dans la gamme 0,15-0,25 dB/km dans la région des 1550 nm. La variation du coefficient d'atténuation en fonction de la longueur d'onde et de la température et les pertes dues aux épissures sont à l'étude.

A.2 *Gammes de longueurs d'onde de fonctionnement déterminées par la dispersion de la fibre*

Pour les fibres conformes à la Recommandation G.652, la longueur d'onde d'annulation de la dispersion est comprise entre 1300 nm et 1322 nm, de sorte que la fibre est optimisée du point de vue de la dispersion dans la région des 1310 nm. Ces longueurs d'onde ainsi que les spécifications correspondantes de la pente au point d'annulation de la dispersion aboutissent à la valeur absolue maximale autorisée du coefficient de dispersion (tel qu'il est déterminé par des fibres ayant le point d'annulation de la dispersion à la longueur d'onde minimale ou à la longueur d'onde maximale) illustrée à la figure A-2/G.957. Toutefois, les fibres conformes à la Recommandation G.652 peuvent également être utilisées dans la région des 1550 nm, pour laquelle le coefficient de dispersion maximal est comparativement élevé, comme illustré à la figure A-2b)/G.957.

Pour les fibres conformes à la Recommandation G.653, la gamme autorisée de longueurs d'onde d'annulation de la dispersion est comprise entre 1500 nm et 1600 nm, de sorte que la fibre est optimisée du point de vue de la dispersion dans la région des 1550 nm. Les expressions analytiques du coefficient de dispersion donnent les valeurs maximales autorisées illustrées à la figure A-3/G.957. Les fibres conformes à la Recommandation G.653 peuvent être utilisées également dans la région des 1310 nm, pour laquelle le coefficient maximal de dispersion est comparativement élevé. Toutefois, cette application éventuelle n'est pas envisagée actuellement dans la Recommandation G.957.

Pour les fibres conformes à la Recommandation G.654 dans la région des 1550 nm, le coefficient de dispersion est analogue, mais légèrement supérieur à celui des fibres conformes aux spécifications G.652. Ce point est encore à l'étude et n'a pas été pris en compte dans les tableaux 2/G.957 à 4/G.957.

Pour les fibres conformes à la Recommandation G.652 dans la région des 1310 nm et pour celles conformes à la Recommandation G.653 dans la région des 1550 nm, la gamme de longueurs d'onde à dispersion limitée est choisie de manière à ce que les valeurs absolues du coefficient de dispersion aux valeurs limites de longueurs d'onde soient approximativement égales. Comme il ressort des courbes de la figure A-2a)/G.957 et de la figure A-3/G.957, les valeurs absolues de dispersion sont donc plus faibles dans la gamme de longueurs d'onde de fonctionnement.

Pour les fibres conformes à la Recommandation G.654 ainsi que pour celles conformes à la Recommandation G.652 dans la région des 1550 nm, la figure A-2b)/G.957 illustre le fait que la dispersion détermine la limite de longueur d'onde de fonctionnement supérieure alors que l'atténuation détermine la limite de longueur d'onde de fonctionnement inférieure.

L'interaction entre l'émetteur et la fibre est prise en compte par un paramètre epsilon. Il est défini comme le produit de 10^{-6} fois le débit binaire (en Mbit/s), multiplié par la dispersion du conduit (en ps/nm), multiplié par la largeur spectrale efficace (en nm). Pour une pénalité de puissance due à la dispersion de 1 dB, epsilon a une valeur maximale. Pour l'interférence intersymbole seule, une valeur 0,306 a été appliquée aux DEL et aux lasers SLM. La largeur à 20 dB pour des lasers SLM a été considérée comme étant 6,07 fois la largeur efficace. (Pour L-16.2 seulement, il a été nécessaire de faire passer epsilon à 0,491, ce qui correspond à une pénalité de puissance de 2 dB.) Pour l'interférence intersymbole, plus le bruit de partition de modes, la valeur maximale 0,115 a été appliquée aux lasers MLM. (Des valeurs de largeur spectrale aussi grandes que celles de I-1 et I-4 ne seront pas souvent rencontrées, mais ont été conservées en raison des économies qu'elles sont susceptibles d'apporter.) Pour le bruit provoqué par les variations de longueur d'onde d'émission des lasers («chirp»), aucune valeur reconnue n'a été appliquée aux lasers SLM.

Pour une largeur spectrale donnée, la dispersion due au conduit optique est fixée pour un code d'application donné. En utilisant la distance appropriée indiquée dans le tableau 1/G.957, on obtient le coefficient maximal de dispersion autorisé. La dépendance spectrale du coefficient de dispersion détermine alors la gamme de longueurs d'onde limitée par la dispersion. (L'utilisation du coefficient de dispersion au-delà des gammes de longueurs d'onde indiquées dans les Recommandations G.652, G.653 ou G.654 doit faire l'objet d'un complément d'étude.)

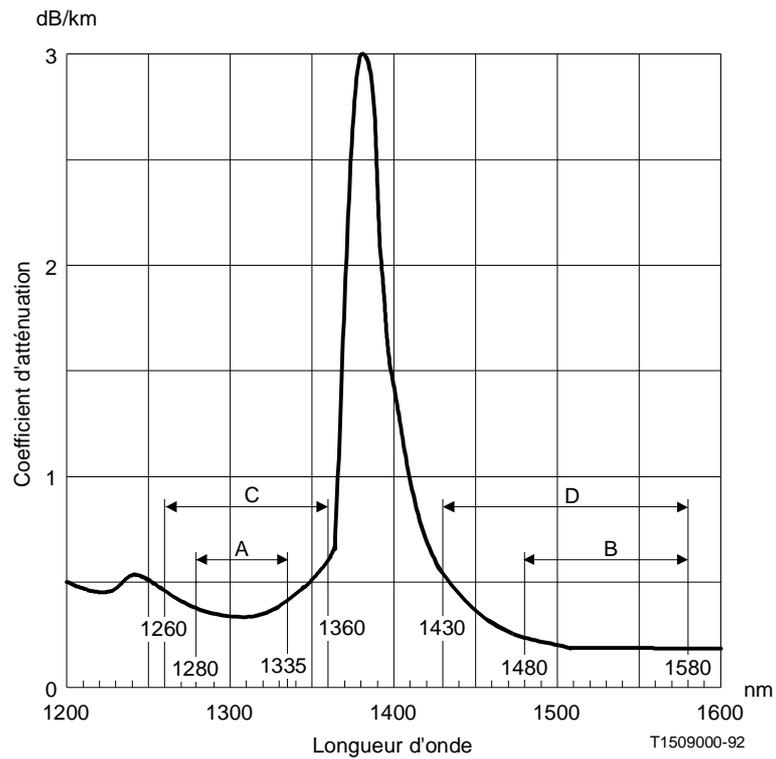
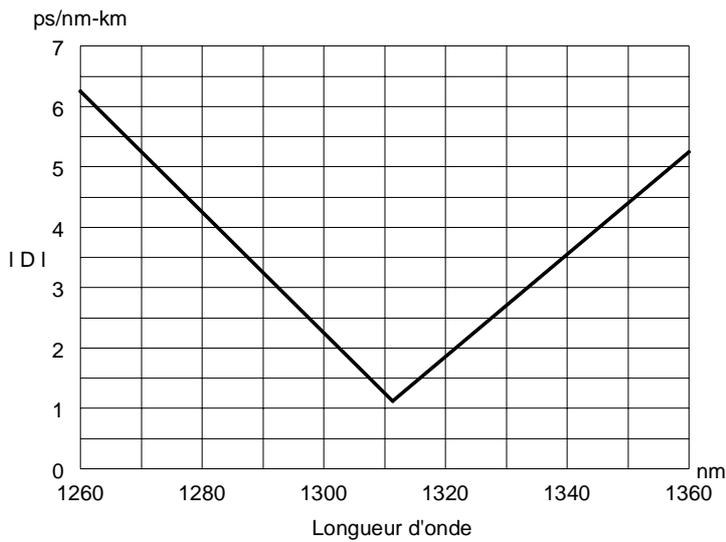


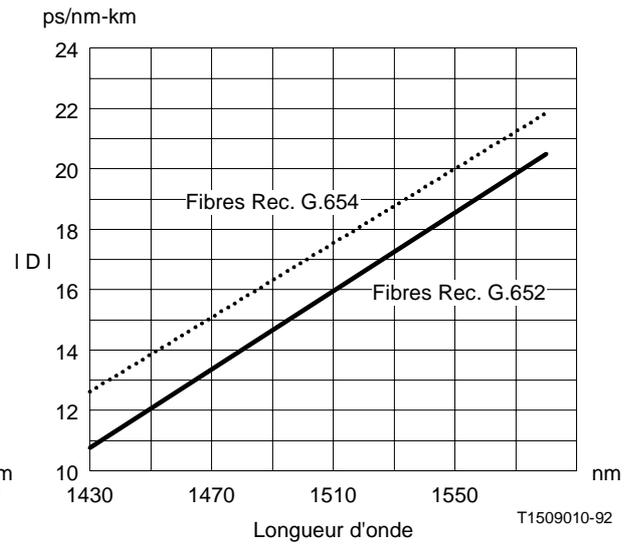
FIGURE A-1/G.957

Coefficient d'atténuation type du câble à fibres installé entre S et R en fonction de la longueur d'onde

Les gammes A et B sont adaptées aux applications à longue portée (L-N.x), et les gammes C et D sont adaptées aux applications à courte portée (S-N.x) et intrastations (I-N).



a) Région des 1310 nm



a) Région des 1550 nm

FIGURE A-2/G.957

Valeur absolue maximale, $|D|$, du coefficient de dispersion pour les fibres conformes à la Recommandation G.652 (—) et à la Recommandation G.654 (---)

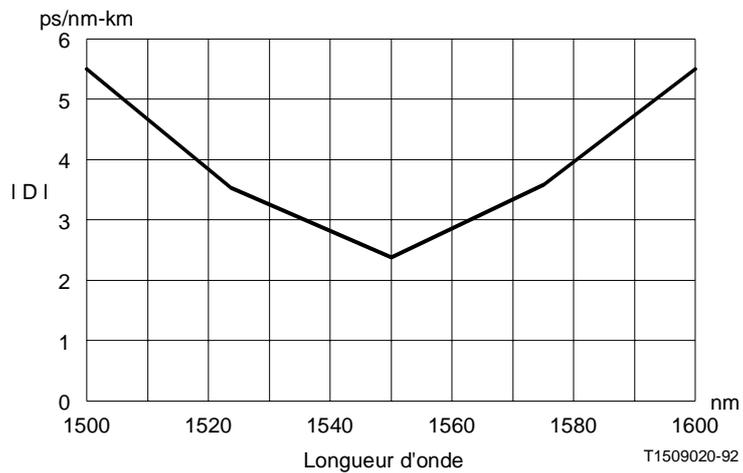


FIGURE A-3/G.957

Valeurs absolues maximales, $|D|$, du coefficient de dispersion pour des fibres conformes à la Recommandation G.653

APPENDICE I

(à la Recommandation G.957)

Mesure du gabarit du diagramme de l'œil du signal optique d'émission

I.1 *Dispositif de mesure*

Afin de garantir l'adéquation du signal d'émission optique à la qualité du récepteur, il est recommandé d'adopter un dispositif de mesure conforme à la figure I-1/G.957 pour le diagramme de l'œil du signal optique d'émission. On peut utiliser une atténuation optique pour ajuster le niveau au point de référence OI. On peut aussi utiliser un amplificateur électrique pour ajuster le niveau au point de référence EO. Les valeurs du gabarit du diagramme de l'œil indiquées dans la figure 2/G.957 comprennent les erreurs de mesure telles que le bruit de l'oscilloscope d'échantillonnage et les écarts de fabrication du filtre passe-bas.

I.2 *Fonction de transfert du récepteur optique de référence*

La fonction de transfert nominal du récepteur optique de référence correspond à la réponse d'un filtre de Bessel-Thomson du 4^e ordre suivante:

$$H(p) = \frac{1}{105} (105 + 105 y + 45 y^2 + 10 y^3 + y^4)$$

avec

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}, \quad y = 2.1140 p, \quad \omega_r = 1.5 \pi f_0, \quad f_0 = \text{bit rate}$$

La fréquence de référence est $f_r = 0,75 f_0$. L'affaiblissement nominal à cette fréquence est de 3 dB. L'atténuation correspondante et la distorsion du temps de propagation de groupe à diverses fréquences sont données au tableau I-1/G.957. La figure I-2/G.957 illustre un montage simplifié du filtre passe-bas utilisé pour mesurer le diagramme de l'œil du signal optique d'émission.

Remarque – L'intention n'est pas de représenter par ce filtre le filtre de bruit utilisé dans le récepteur optique d'un système réel.

Afin de tenir compte des tolérances des composants du récepteur optique de référence, y compris le filtre passe-bas, l'atténuation effective ne doit pas s'écarter de l'atténuation nominale de plus que les valeurs spécifiées au tableau I-2/G.957. Il convient de vérifier que la courbe représentant le temps de propagation de groupe est plate dans la bande de fréquences située en dessous de la fréquence de référence. La tolérance associée est à l'étude.

TABLEAU I-1/G.957

**Valeurs nominales de l'atténuation et du temps de propagation
de groupe du récepteur optique de référence**

f/f_0	f/f_r	Atténuation (dB)	Distorsion du temps de propagation de groupe (UI)
0,15	0,2	0,1	0
0,3	0,4	0,4	0
0,45	0,6	1,0	0
0,6	0,8	1,9	0,002
0,75	1,0	3,0	0,008
0,9	1,2	4,5	0,025
1,0	1,33	5,7	0,044
1,05	1,4	6,4	0,055
1,2	1,6	8,5	0,10
1,35	1,8	10,9	0,14
1,5	2,0	13,4	0,19
2,0	2,67	21,5	0,30

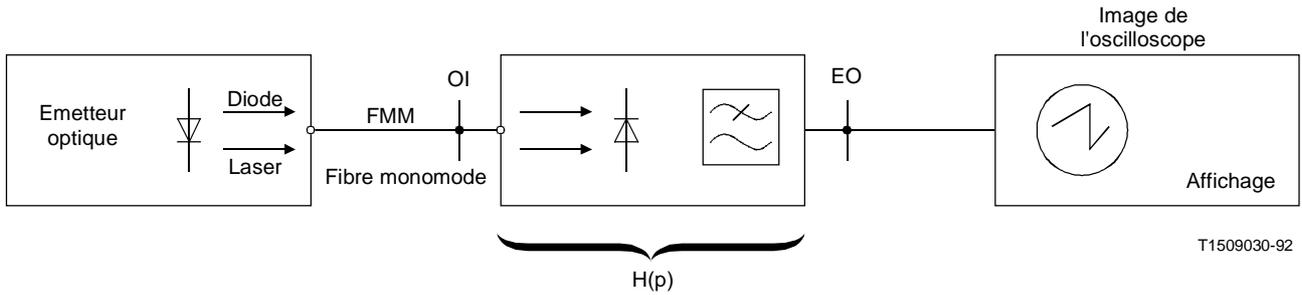
TABLEAU I-2/G.957

**Tolérance sur l'atténuation du récepteur
optique de référence**

f/f_r	Δa (dB) ^{a)}		
	STM-1	STM-4	STM-16
0,001 ... 1	± 0,3	± 0,3	± 0,5
1 ... 2	± 0,3 ... ± 2,0	± 0,3 ... ± 2,0	± 0,5 ... ± 3,0

a) Valeurs provisoires.

Remarque – Les valeurs intermédiaires de a doivent faire l'objet d'une interpolation linéaire sur une échelle de fréquence logarithmique.



- $H(p)$ Fonction de transfert du récepteur optique de référence y compris la fonction de transfert du photodétecteur et du filtre passe-bas électrique.
- FMM Fibre monomode. Moins de 10 m de fibre optique conforme aux Recommandations G.652, G.653 ou G.654.
- OI, EO Points de référence pour l'entrée optique (OI, *optical input*) et la sortie électrique (EO, *electrical output*).

FIGURE I-1/G.957

Dispositif de mesure du diagramme de l'oeil de l'émetteur

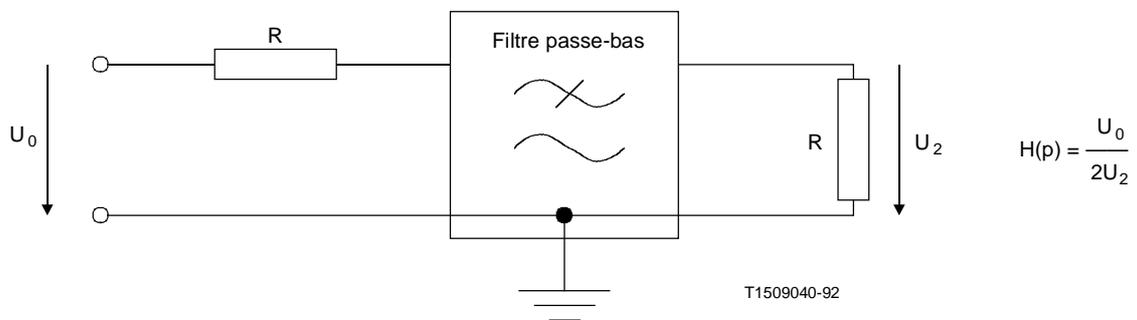


FIGURE I-2/G.957

Filtre passe-bas du récepteur permettant de mesurer le diagramme de l'oeil de l'émetteur

APPENDICE II
(à la Recommandation G.957)

Méthodes permettant de mesurer les réflexions

L'on utilise en général deux méthodes. Le réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel (OCWR) (OCWR = Optical Continuous-Wave Reflectometer) utilise une source lumineuse stable continue ou modulée avec un mesureur de puissance optique très sensible à moyennage dans le temps. Il permet de mesurer l'affaiblissement d'adaptation optique de l'installation en câble au point S ou la réflectance du récepteur au point R. Le réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR) (OTDR = Optical Time-Domain Reflectometer) se sert d'une source pulsée ayant un faible rapport cyclique ainsi que d'un récepteur optique ayant une résolution temporelle fine. Il permet de mesurer les sources de réflexion isolées entre S et R ou la réflectance du récepteur au point R.

Ces deux instruments utilisent des coupleurs optiques 2 vers 1 et tous deux se trouvent sur le marché. Les instructions livrées avec l'instrument peuvent remplacer celles données ci-dessous. En outre, des procédures d'essai sont en cours d'élaboration.

A des fins d'étalonnage, on peut utiliser une jarretière ayant à l'extrémité une valeur de réflexion connue. La valeur de cette réflexion peut avoisiner 0 (ce que l'on obtient avec une adaptation soignée des indices et/ou un petit rayon de courbure de la fibre) ou avoisiner $-14,5$ dB (comme avec une bonne fracture) ou toute réflexion connue R_0 (comme avec une fracture imparfaite ou avec un mince film de revêtement). La connexion entre la jarretière et l'instrument doit avoir une faible réflectance.

II.1 *Réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel*

La nomenclature du coupleur est illustrée à la figure II-1/G.957 et les mesures d'étalonnage suivantes doivent être réalisées une fois seulement. On mesure la puissance P_s en connectant la source optique directement au mesureur de puissance. Cette source est ensuite connectée à l'accès de sortie 3 du coupleur, dans ces conditions le mesureur de puissance mesure P_{32} à l'accès d'entrée 2. Puis la source est connectée à l'accès d'entrée 1, et le mesureur de puissance mesure la puissance P_{13} à l'accès 3. Enfin, la jarretière non réfléchissante est reliée à l'accès 3 pendant que la puissance P_0 est mesurée à l'accès 2.

Pour mesurer la réflectance du détecteur, le connecteur au point R est relié à l'accès 3; pour mesurer l'affaiblissement d'adaptation optique (ORL) de l'installation en câble, le connecteur au point S est relié à l'accès 3. Dans l'un comme dans l'autre cas, la puissance P_R est mesurée par le mesureur de puissance à l'accès 2. La réflectance du détecteur est la suivante:

$$R = 10 \log_{10} \frac{P_s [P_R - P_0]}{P_{13} P_{32}}$$

L'ORL de l'installation en câble est le suivant:

$$ORL = -R$$

II.2 *Réflectomètre optique dans le domaine temporel (OTDR)*

Là le coupleur est habituellement intégré à l'instrument. Une atténuation optique variable ainsi qu'une queue de cochon de longueur s'étendant au-delà de la zone morte de l'instrument sont fournis s'ils ne font pas partie intégrante de l'instrument. Les mesures d'étalonnage suivantes ne doivent être réalisées qu'une fois. Une jarretière de réflexion R_0 connue est connectée, ce qui donne une trace sur l'OTDR illustrée schématiquement à la figure II-2/G.957. L'atténuation optique est ajustée jusqu'à ce que la crête de réflexion tombe juste en dessous du niveau de saturation de l'instrument, et on note alors une hauteur de crête H_0 . Le facteur d'étalonnage est calculé.

$$F = R_0 - 10 \log_{10} \left(\frac{H_0}{10^5} - 1 \right)$$

(Si la durée dans le temps D de l'impulsion est mesurée, le coefficient de rétrodiffusion de la fibre est $B = F - 10 \log_{10} D$. Si D est exprimée en ns, B se situe au voisinage de -80 dB.)

Pour mesurer la réflectance maximale entre S et R, l'OTDR est relié au point S ou R. On note une hauteur de crête H pour un facteur de réflexion donné. La valeur qui en résulte est la suivante:

$$R = F + 10 \log_{10} \left(10^{\frac{H}{5}} - 1 \right)$$

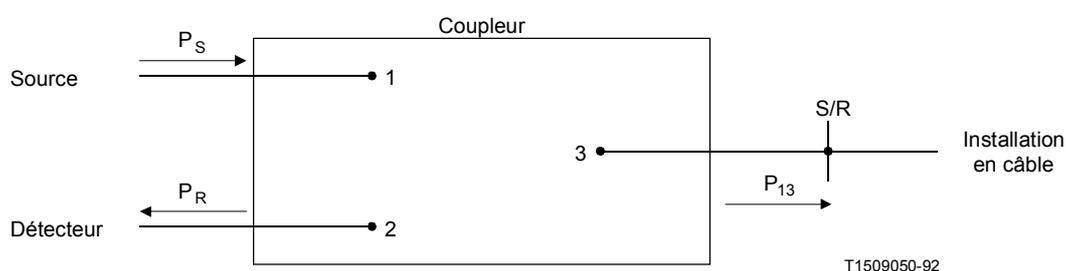


FIGURE II-1/G.957

Montage du coupleur pour un OTDR et un OCWR

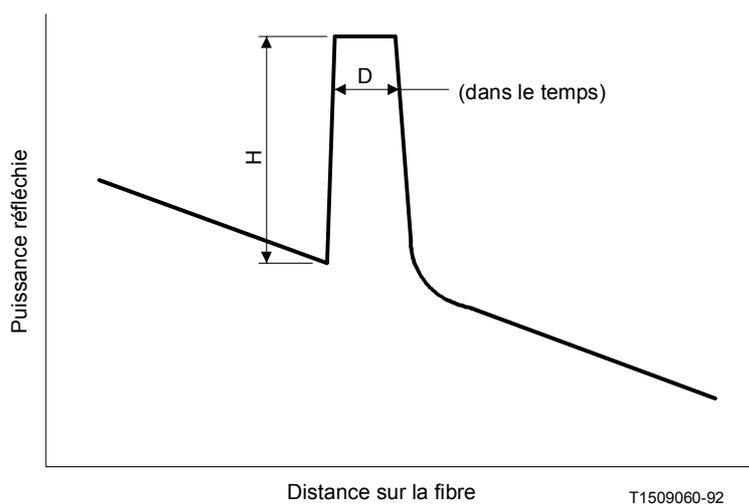


FIGURE II-2/G.957

Trace de l'OTDR pour un réflecteur isolé

APPENDICE III

(à la Recommandation G.957)

Méthode possible d'évaluation de la contribution de la marge de vieillissement dans les spécifications de la sensibilité du récepteur

Le présent appendice décrit une méthode possible pour déterminer la contribution des effets du vieillissement dans les spécifications de la sensibilité du récepteur utilisées dans la Recommandation G.957.

III.1 *Sensibilité du récepteur et ouverture de l'œil*

La figure III-1/G.957 montre l'ouverture de l'œil du récepteur en fonction de la puissance optique reçue. La valeur de l'ouverture de l'œil, E , est la valeur déterminée par le concepteur du système pour un taux d'erreur de 10^{-10} . La puissance reçue P_2 correspond à la puissance requise pour l'ouverture maximale de l'œil du récepteur. Pour une exploitation stable du système, la puissance optique reçue est typiquement fixée à un niveau supérieur à P_1 de telle façon que, à la fin de la vie du système, l'ouverture de l'œil soit encore conforme à la valeur spécifiée, E . Ainsi, P_1 est la sensibilité du récepteur en fin de vie et P_0 est la sensibilité du récepteur en début de vie. M est la marge entre P_1 et P_0 pour tenir compte des effets du vieillissement du récepteur. La valeur de marge en termes de hauteur de l'œil dépend des caractéristiques du récepteur et les valeurs peuvent être, par exemple, $E_1 - E$ et $E_2 - E$ pour différents récepteurs (par exemple type I ou type II). La marge obtenue n'est pas suffisante si le niveau reçu est P_0 .

On peut supposer que les effets du vieillissement sur les performances du récepteur se traduisent par un décalage de la courbe ouverture de l'œil en fonction de la puissance optique reçue, tel qu'indiqué dans la figure III-2/G.957. On peut aussi supposer, dans le but de simuler les effets du vieillissement, qu'en ajoutant une quantité donnée d'interférence intersymbole au signal correspondant à la valeur initiale de marge de l'œil on obtienne la courbe décalée. La méthode d'essai proposée pour évaluer l'ouverture de l'œil par cette technique est appelée essai S/X .

III.2 *Méthode d'essai S/X*

Pour simuler le bruit dû à l'interférence intersymbole, l'essai S/X est réalisé en utilisant un signal NRZ modulé à une fréquence basse par rapport au débit binaire de fonctionnement du système. Ce signal perturbateur est combiné sur le plan optique avec un signal optique normal, puis injecté dans le récepteur soumis à l'essai.

Dans l'essai S/X , la puissance du signal optique normal est habituellement réglée sur P_1 . La puissance optique du bruit perturbateur X peut être déterminée par une relation entre l'ouverture de l'œil et le rapport S/X dont les caractéristiques sont illustrées à la figure III-3/G.957. Il ressort de la figure III-3/G.957 que le rapport S/X prend une valeur $(S/X)_E$ par la relation entre E_1 et E . La marge de vieillissement M et $(S/X)_E$ est donnée par:

$$M = P_1 - P_0$$

$$(S/X)_E = \frac{P_1}{X}$$

La configuration de l'essai est illustrée à la figure III-4/G.957.

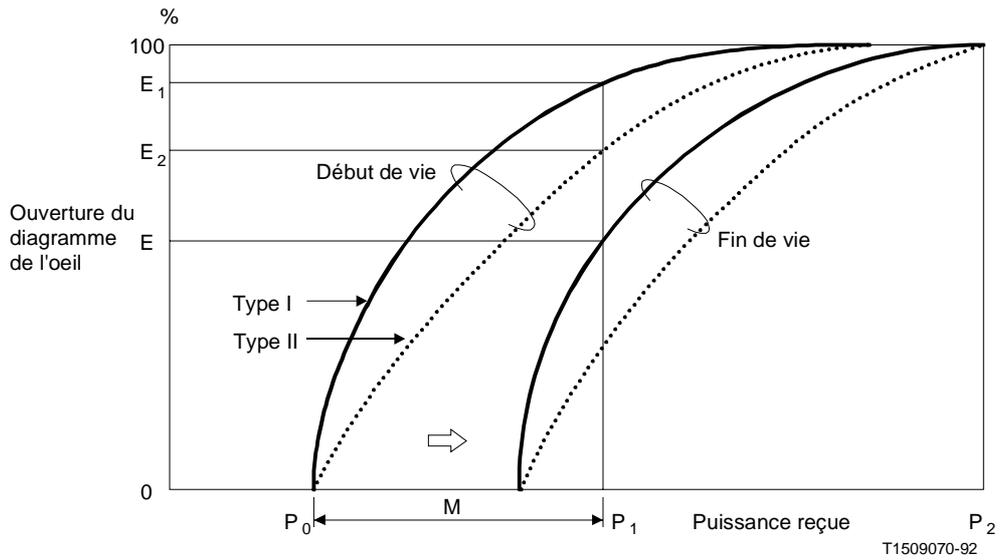


FIGURE III-1/G.957
Caractéristiques du diagramme de l'oeil

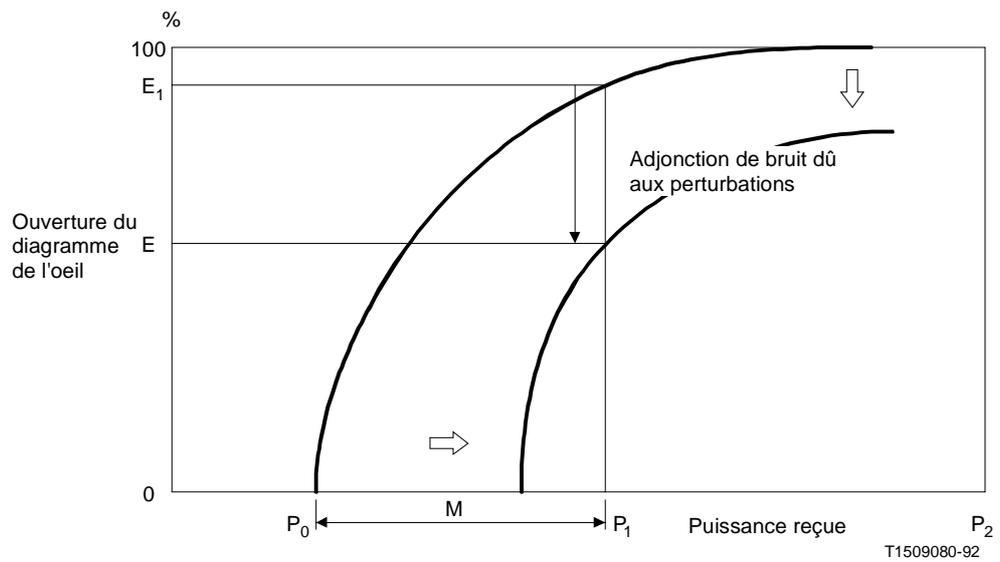


FIGURE III-2/G.957
Ouverture du diagramme de l'oeil due aux perturbations entre les symboles

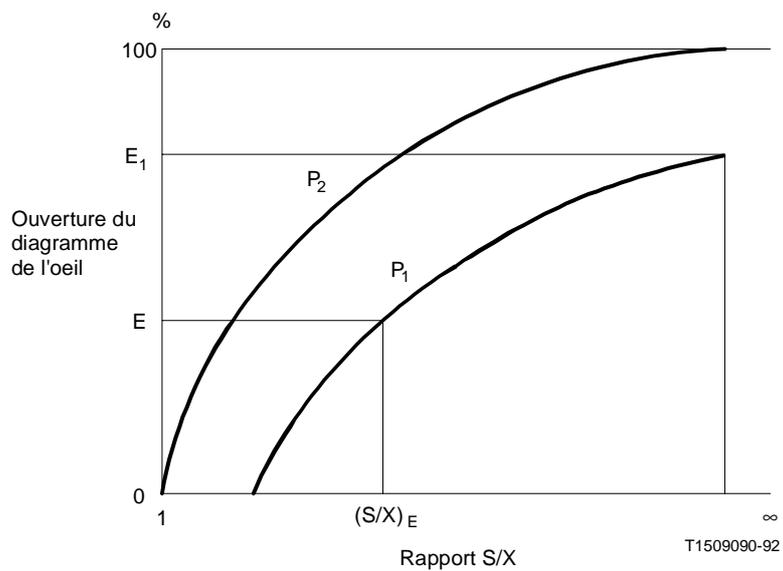


FIGURE III-3/G.957

**Ouverture du diagramme de l'oeil et rapport S/X.
Le paramètre est la puissance normale du signal**

APPENDICE IV

(à la Recommandation G.957)

Exemples de possibilités d'évolution

On trouvera ci-dessous la description de deux exemples montrant comment on peut faire évoluer une installation optique donnée:

Exemple 1

Pour réaliser des conceptions peu onéreuses, optimisées pour un niveau hiérarchique donné en utilisant des composants optiques courants largement répandus, on peut adopter les gammes d'atténuation ci-après pour les applications à longue portée:

- STM-1 28 dB
- STM-4 24 dB
- STM-16 20 dB.

Pour passer d'un niveau hiérarchique à un autre plus élevé, tout en maintenant le même espacement entre régénérateurs entre le système initial et le nouveau système, on peut envisager les solutions suivantes:

- i) effectuer la conception initiale du système en fonction de l'affaiblissement le plus faible (c'est-à-dire pour le niveau hiérarchique le plus élevé) prévu pour le système à longue portée qu'on installera pour faire évoluer le système;
- ii) si le système initial fonctionne dans la région des 1310 nm sur des fibres conformes à la Recommandation G.652, le système peut alors fonctionner dans la région des 1550 nm pour obtenir une atténuation sur les câbles inférieure, mais avec une pénalité due à la dispersion augmentée;
- iii) les composants ayant un affaiblissement relativement élevé (par exemple les connecteurs) peuvent être remplacés par des composants à perte peu élevée pour le système perfectionné;
- iv) des méthodes de conception statistiques peuvent être employées afin d'obtenir des sections de câble améliorées pour le système perfectionné.

Exemple 2

Une autre méthode d'envisager l'évolution consiste à employer le concept d'un ensemble de niveaux de qualité dans les systèmes STM-N d'ordre supérieur pour les interfaces interstations longue portée. Le tableau IV-1/G.957 ainsi que la figure IV-1/G.957 montrent une classification des niveaux de qualité fondée sur l'atténuation maximale. Les valeurs de paramètre correspondant aux différents niveaux doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Ces niveaux peuvent être appliqués par les utilisateurs lors de l'étude de la planification du réseau et de la rentabilité, etc. En outre, la conception d'un système d'une qualité supérieure devrait permettre d'incorporer les dernières avancées technologiques et l'évolution des besoins des services.

TABLEAU IV-1/G.957

Classification des applications à longue portée fondée sur des niveaux de qualité

Atténuation maximale	STM-1	STM-4	STM-16
28 dB	niveau 1	niveau 2	niveau 3
24 dB	–	niveau 1	niveau 2
20 dB	–	–	niveau 1

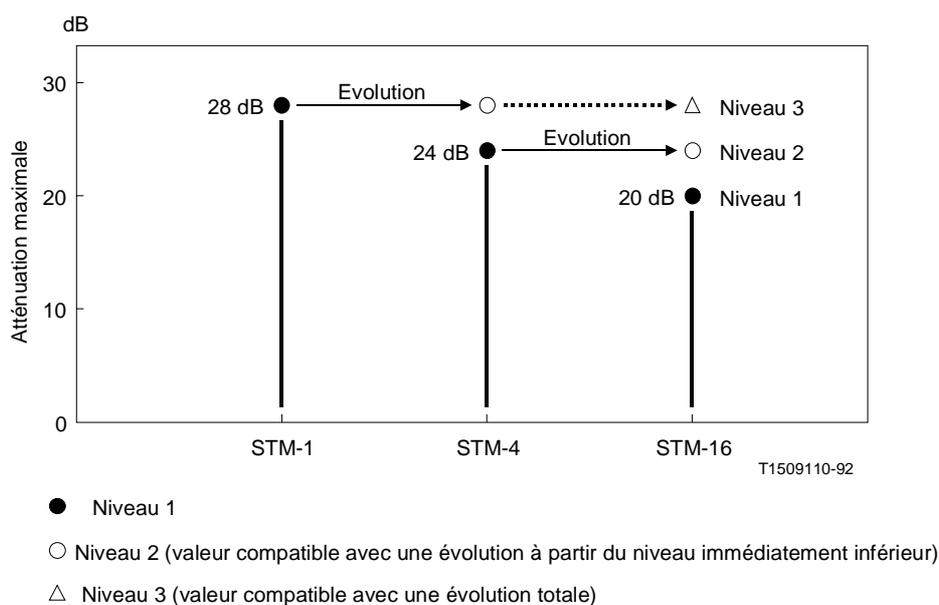


FIGURE IV-1/G.957

Atténuations maximales pour les interfaces interstations longue portée STM-N

Référence

- [1] CEI 825, *Sécurité du rayonnement des appareils à laser, classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*, 1984.

