

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.957

(03/2006)

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

Sections numériques et systèmes de lignes numériques –
Systèmes numériques de transmission par ligne

**Interfaces optiques pour les équipements et les
systèmes relatifs à la hiérarchie numérique
synchrone**

Recommandation UIT-T G.957



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
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
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
Généralités	G.900–G.909
Paramètres pour les systèmes à câbles optiques	G.910–G.919
Sections numériques à débits hiérarchisés multiples de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Systèmes numériques de transmission par ligne à débits non hiérarchisés	G.930–G.939
Systèmes de transmission numérique par ligne à supports MRF	G.940–G.949
Systèmes numériques de transmission par ligne	G.950–G.959
Section numérique et systèmes de transmission numériques pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes de câbles optiques sous-marins	G.970–G.979
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.989
Réseaux d'accès	G.990–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE ETHERNET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.957

Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone

Résumé

La présente Recommandation spécifie les paramètres des interfaces optiques pour les équipements et les systèmes fonctionnant selon la hiérarchie numérique synchrone, en vue d'assurer une compatibilité transversale.

Source

La Recommandation UIT-T G.957 a été approuvée le 29 mars 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

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.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude 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 1 de l'AMNT.

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.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

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 2006

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

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références normatives.....	1
3	Termes et définitions	2
	3.1 Définitions	2
	3.2 Termes définis dans d'autres Recommandations.....	2
4	Abréviations.....	2
5	Classification des interfaces optiques.....	3
6	Définitions des paramètres	8
	6.1 Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement du système.....	8
	6.2 Emetteur	9
	6.3 Conduit optique	12
	6.4 Récepteur.....	14
7	Valeurs des paramètres optiques pour les applications SDH	15
8	Méthode d'ingénierie optique	15
	8.1 Hypothèses de conception	15
	8.2 Méthode de conception du cas le plus défavorable.....	15
	8.3 Méthode de conception statistique	16
	8.4 Considérations relatives aux possibilités d'évolution.....	17
	8.5 Ingénierie commune	17
Annexe A – Considérations relatives à la longueur d'onde de fonctionnement du système....		19
	A.1 Gammes de longueurs d'onde de fonctionnement déterminées par l'atténuation de la fibre	19
	A.2 Gammes de longueurs d'onde de fonctionnement déterminées par la dispersion de la fibre	20
Annexe B – Mesure du gabarit du diagramme de l'œil du signal optique d'émission		23
	B.1 Dispositif de mesure	23
	B.2 Fonction de transfert du récepteur optique de référence	23
Appendice I – Méthodes permettant de mesurer les réflexions		25
	I.1 Réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel	25
	I.2 Réflectomètre optique dans le domaine temporel	26
Appendice II – Méthode de mesure de l'insensibilité à la présence de chiffres consécutifs identiques (CID, <i>consecutive identical digit</i>)		27
	II.1 Introduction	27
	II.2 Méthode.....	28
Appendice III – Méthode possible d'évaluation de la contribution de la marge de vieillessement dans les spécifications de la sensibilité du récepteur.....		29
	III.1 Sensibilité du récepteur et ouverture de l'œil	29
	III.2 Méthode de test <i>S/X</i>	30

	Page
Appendice IV – Exemples de possibilités d'évolution.....	32
IV.1 Exemple 1	32
IV.2 Exemple 2	32

Recommandation UIT-T G.957

Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone

1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie les paramètres des interfaces optiques pour les équipements et les systèmes fonctionnant selon la hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*) définie dans la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 et sur des fibres optiques monomodes conformes aux Recommandations UIT-T G.652, G.653 et G.654.

La présente Recommandation vise à spécifier les interfaces optiques des équipements SDH décrits dans la Rec. UIT-T G.783, 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 la présente Recommandation ont également été conçues de manière à être conformes avec la Rec. UIT-T G.955 qui permet 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.

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 UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- Recommandation UIT-T G.652 (2005), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.653 (2003), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée.*
- Recommandation UIT-T G.654 (2004), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée.*
- Recommandation UIT-T G.655 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- Recommandation UIT-T G.707/Y.1322 (2003), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.783 (2006), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.826 (2002), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur de bout en bout pour les connexions et conduits numériques internationaux à débit constant.*
- Recommandation UIT-T G.955 (1996), *Systèmes de lignes numériques des hiérarchies à 1544 kbit/s et à 2048 kbit/s sur câbles à fibres optiques.*

- Recommandation UIT-T I.432.2 (1999), *Interface utilisateur-réseau du RNIS-LB – Spécification de la couche physique: exploitation à 155 520 kbit/s et 622 080 kbit/s.*
- CEI 60825-1 (2001), *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur.*
- CEI 60825-2 (2005), *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques.*

3 Termes et définitions

3.1 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1.1 compatibilité transversale: possibilité de mélanger les équipements provenant de fabricants différents dans une section optique unique.

3.1.2 ingénierie commune: processus selon lequel des Administrations/opérateurs conviennent d'un ensemble de caractéristiques d'interface de liaison optique répondant à des critères de qualité de fonctionnement de la liaison convenus lorsque les spécifications d'interface disponibles dans les Recommandations de l'UIT-T ne suffisent pas à assurer le niveau de performance requis.

3.2 Termes définis dans d'autres Recommandations

Les termes suivants, définis dans d'autres Recommandations de l'UIT-T, sont utilisés dans la présente Recommandation:

- points de référence S/R: voir la Rec. UIT-T G.955;
- hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*): voir la Rec. UIT-T G.707/Y.1322;
- module de transport synchrone (STM, *synchronous transport module*): voir la Rec. UIT-T G.707/Y.1322;
- compatibilité longitudinale: voir la Rec. UIT-T G.955.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

BER	taux d'erreur binaire (<i>bit error ratio</i>)
EX	taux d'extinction
LED	diode électroluminescente (<i>light-emitting diode</i>)
MLM	mode longitudinal multiple
NA	non applicable
NRZ	non-retour à zéro
ORL	perte de retour optique (<i>optical return loss</i>)
RMS	écart type (<i>root-mean-square</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SLM	mode longitudinal unique (<i>single-longitudinal mode</i>)

STM	module de transport synchrone (<i>synchronous transport module</i>)
UI	intervalle unitaire (<i>unit interval</i>)
WDM	multiplexage en longueurs d'onde (<i>wavelength-division multiplexing</i>)

5 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 différentes stations que pour les applications à l'intérieur des centraux pour relier les équipements d'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'applications et de séries correspondantes de spécifications des interfaces optiques à des fins de normalisation.

Comme il ressort du Tableau 1, 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 80 km environ dans la fenêtre des 1550 nm.

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		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652 G.654	G.653
Distance (km) ^{a)}		≤ 2	~ 15		~ 40	~ 80	
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)} Il s'agit de distances cibles qui doivent servir au classement et non à la spécification. La possibilité d'appliquer l'ensemble de paramètres optiques définis dans la présente Recommandation à des systèmes à fibre monomodes conformes à la Rec. UIT-T G.655 n'est pas exclue par la désignation des types de fibres dans les codes d'application.							

Dans chaque catégorie, il est possible d'envisager l'utilisation soit de sources nominales à 1310 nm sur des fibres optiques conformes à la Rec. UIT-T G.652, soit des sources nominales à 1550 nm sur des fibres optiques conformes aux Recommandations UIT-T 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 Rec. UIT-T 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 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. 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) (*short-haul*) ou L (longue portée) (*long-haul*) 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 Rec. UIT-T G.652;
- 2 indiquant des sources de longueur d'onde nominale de 1550 nm sur des fibres conformes à la Rec. UIT-T 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 Rec. UIT-T G.653.

NOTE – L'utilisation du terme à l'intérieur des centraux n'est censée exclure aucune autre application conforme à l'ensemble des paramètres optiques spécifiés (par exemple interface utilisateur-réseau RNIS-LB – Spécification de la couche Physique définie dans la Rec. UIT-T I.432.2).

Les distances choisies pour les codes d'application indiqués au Tableau 1 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 d'implémentation 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 représentent des portées de régénération maximales approximatives. Les limites spécifiques de distance compatibles avec les limites d'atténuation indiquées dans les Tableaux 2 à 4, 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 à 4.

Tableau 2/G.957 – Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-1

	Unité	Valeurs									
Signal numérique Débit nominal	kbit/s	STM-1 selon la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 155 520									
Code d'application (Tableau 1)		I-1	S-1.1	S-1.2		L-1.1	L-1.2	L-1.3			
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement	nm	1260 ^{a)} -1360	1261 ^{a)} -1360	1430-1576	1430-1580	1263 ^{a)} -1360	1480-1580	1534-1566/ 1523-1577	1480-1580		
Emetteur au point de référence S		MLM	LED	MLM	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	MLM	SLM
Type de source											
Caractéristiques spectrales:											
– largeur RMS maximale (σ)	nm	40	80	7,7	2,5	–	3	–	–	3/2,5	–
– 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	–8	0	0	0	0	0	0
– minimale	dBm	–15	–15	–15	–15	–5	–5	–5	–5	–5	–5
Taux d'extinction minimal	dB	8,2	8,2	8,2	8,2	10	10	10	10	10	10
Conduit optique entre S et R											
Gamme d'atténuation ^{b)}	dB	0-7	0-12	0-12	0-12	10-28	10-28	10-28	10-28	10-28	10-28
Dispersion maximale	ps/nm	18	25	96	296	NA	246	NA	NA	246/296	NA
Affaiblissement d'adaptation optique minimal du câble à S, y compris tous les connecteurs	dB	NA	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA
Réflectance discrète maximale entre S et R	dB	NA	NA	NA	NA	NA	NA	–25	NA	NA	NA
Récepteur au point de référence R											
Sensibilité minimale ^{b)}	dBm	–23	–28	–28	–28	–34	–34	–34	–34	–34	–34
Saturation minimale	dBm	–8	–8	–8	–8	–10	–10	–10	–10	–10	–10
Pénalité maximale due au conduit optique	dB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Réflectance maximale du récepteur, mesurée à R	dB	NA	NA	NA	NA	NA	NA	–25	NA	NA	NA
^{a)} Certaines Administrations peuvent exiger une limite de 1270 nm. ^{b)} Voir § 6.											

Tableau 3/G.957 – Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-4

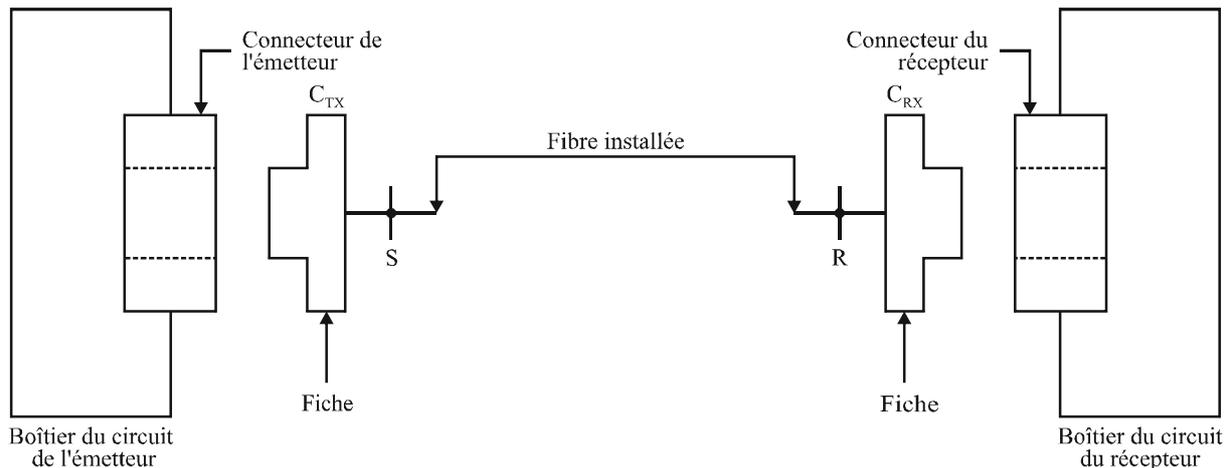
	Unité	Valeurs						
Signal numérique Débit nominal	kbit/s	STM-4 selon la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 622 080						
Code d'application (Tableau 1)		I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1		L-4.2	L-4.3
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement	nm	1261 ^{a)} -1360	1293-1334/ 1274-1356	1430-1580	1300-1325/ 1296-1330	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Emetteur au point de référence S		MLM LED	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	SLM
Type de source								
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)}	1
– rapport de suppression minimal du mode latéral	dB	– –	–	30	–	30	30	30
Puissance injectée moyenne:								
– maximale	dBm	–8	–8	–8	+2	+2	+2	+2
– minimale	dBm	–15	–15	–15	–3	–3	–3	–3
Taux d'extinction minimal	dB	8,2	8,2	8,2	10	10	10	10
Conduit optique entre S et R								
Gamme d'atténuation ^{b)}	dB	0-7	0-12	0-12	10-24		10-24	10-24
Dispersion maximale	ps/nm	13 14	46/74	NA	92/109 NA	1600	NA	NA
Affaiblissement d'adaptation optique minimal du câble à S, y compris tous les connecteurs	dB	NA	NA	24	20		24	20
Réflectance discrète maximale entre S et R	dB	NA	NA	–27	–25		–27	–25
Récepteur au point de référence R								
Sensibilité minimale ^{b)}	dBm	–23	–28	–28	–28	–28	–28	–28
Saturation minimale	dBm	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8
Pénalité maximale due au conduit optique	dB	1	1	1	1	1	1	1
Réflectance maximale du récepteur, mesurée à R	dB	NA	NA	–27	–14		–27	–14
^{a)} Certaines Administrations peuvent exiger une limite de 1270 nm. ^{b)} Voir § 6.								

Tableau 4/G.957 – Paramètres spécifiés pour les interfaces optiques STM-16

	Unité	Valeurs					
Signal numérique Débit nominal	kbit/s	STM-16 selon la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 2 488 320					
Code d'application (Tableau 1)		I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement	nm	1266 ^{a)} -1360	1260 ^{a)} -1360	1430-1580	1280-1335	1500-1580	1500-1580
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	+3	+3	+3
– minimale	dBm	–10	–5	–5	–2	–2	–2
Taux d'extinction minimal	dB	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Conduit optique entre S et R							
Gamme d'atténuation ^{b)}	dB	0-7	0-12	0-12	12-24 ^{d)}	12-24 ^{d)}	12-24 ^{d)}
Dispersion maximale à la limite supérieure de longueur d'onde	ps/nm	12 ^{c)}	NA	800 ^{c)}	NA	1600 ^{c)}	450 ^{c)}
Dispersion maximale à la limite inférieure de longueur d'onde	ps/nm	12 ^{c)}	NA	420 ^{c)}	NA	1200 ^{c)}	450 ^{c)}
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 ^{b)}	dBm	–18	–18	–18	–27	–28	–27
Saturation minimale	dBm	–3	0	0	–9	–9	–9
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
<p>a) Certaines administrations peuvent exiger une limite de 1270 nm.</p> <p>b) Voir § 6.</p> <p>c) Pour les longueurs d'onde comprises entre les limites supérieure et inférieure, la dispersion maximale est interpolée linéairement entre les valeurs indiquées pour ces limites. Lorsque les valeurs de dispersion maximale sont les mêmes, cette valeur doit être respectée pour l'ensemble de la gamme de longueurs d'onde.</p> <p>d) Certaines administrations peuvent exiger une atténuation minimale de 10 dB au lieu de 12 dB, pour cela, il faut soit diminuer la puissance de sortie maximale de l'émetteur, soit élever le niveau de saturation minimale du récepteur (soit encore combiner ces deux procédés).</p>							

6 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. A la Figure 1, 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.



G.957-F01

Figure 1/G.957 – Représentation des interfaces de systèmes de ligne à fibres optiques

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 (BER, *bit error ratio*) 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. Pour les systèmes à qualité améliorée (par exemple, BER de 10^{-12} ou mieux; voir Rec. UIT-T G.826), il peut être nécessaire d'améliorer la sensibilité des récepteurs ou de réduire la gamme d'atténuation pour les applications du Tableau 1.

Le codage en ligne optique utilisé pour toutes les interfaces du système est un codage non-retour à zéro (NRZ) binaire, embrouillé conformément à la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.

6.1 Gamme de longueurs d'onde de fonctionnement du système

Afin d'avoir une certaine souplesse pour l'implémentation de systèmes permettant la compatibilité transversale et pour l'utilisation future du multiplexage en longueurs d'onde (WDM, *wavelength-division multiplexing*), 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 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 la présente Recommandation.

La gamme des longueurs d'onde de fonctionnement est l'étendue maximale des longueurs d'onde admissible pour la source. Dans cette étendue, la longueur d'onde de la source peut être choisie selon différentes dégradations associées aux fibres (et, le cas échéant, selon différentes implémentations d'amplificateur). Le récepteur doit toujours avoir la gamme minimale des longueurs d'onde de fonctionnement qui correspond à l'étendue maximale admissible des longueurs d'onde de source. Pour les réseaux SDH utilisant des amplificateurs à fibres optiques, il faudra peut-être limiter la gamme des longueurs d'onde de fonctionnement.

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 UIT-T G.652 et G.653, ces valeurs ont été choisies de manière à permettre un fonctionnement monomode du câble à fibres à 1270 nm et au-dessus, des valeurs descendant jusqu'à 1260 nm étant autorisées par certaines Administrations. Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.654, ces valeurs sont acceptables pour un fonctionnement monomode à partir de 1530 nm.

Les régions de longueurs d'onde admissibles sont en outre définies par l'atténuation 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 pics 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 Rec. UIT-T 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 le pic à 1385 nm (eau) définissent en conséquence une seconde région de longueurs d'onde de fonctionnement au voisinage de 1550 nm. La Rec. UIT-T G.654 pour les fibres à longueur d'onde de coupure décalée est limitée à cette région uniquement. Toutefois, les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.652 et à dispersion décalée conformes à la Rec. UIT-T 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 la dispersion 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.

6.2 Emetteur

6.2.1 Type de source nominale

Selon les caractéristiques d'atténuation/dispersion et le niveau hiérarchique de chaque application du Tableau 1, les dispositifs utilisables pour les émetteurs sont notamment les diodes électroluminescentes (LED, *light-emitting diode*), les lasers à modes longitudinaux multiples (MLM) et des lasers à mode longitudinal unique (SLM, *single-longitudinal mode*). 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 LED 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 LED sans que l'on constate une dégradation quelconque de la qualité de fonctionnement du système.

6.2.2 Caractéristiques spectrales

Pour les LED et les lasers MLM, la largeur spectrale est spécifiée par la largeur efficace maximale [écart type (RMS, *root-mean-square*) maximale de la largeur] dans les conditions de fonctionnement spécifiées. 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 de tous les modes qui ne sont pas inférieurs de plus de 20 dB au mode de crête.

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 pour les applications L-4.2, S-16.1, S-16.2, L-16.1, L-16.2 et L-16.3 sont à l'étude.

Selon les indications actuelles, les définitions de la largeur spectrale fondées sur des valeurs spectrales moyennes dans le temps ne sont pas suffisamment bien corrélées avec la dégradation liée au trajet pour pouvoir être utilisées de façon à assurer le bon fonctionnement des appareils SLM.

On reconnaît la nécessité de spécifier les caractéristiques dynamiques des lasers de manière plus précise, en particulier pour les systèmes à longue portée. Actuellement, la meilleure méthode dont on dispose 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 sont alors évaluées à l'aide d'une mesure du taux d'erreur.

La méthode décrite ci-dessus est aussi utilisée pour les essais de recette des lasers. Ainsi, on évalue le laser en l'incorporant à l'émetteur d'un système de transmission émulé. Les lasers ayant des caractéristiques spectrales acceptables sont identifiés sur la base d'un taux d'erreur satisfaisant du système émulé. D'autres méthodes permettant de caractériser les qualités dynamiques du laser, doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Pour les réseaux SDH utilisant des amplificateurs à fibres optiques, il faut mettre en œuvre un émetteur ayant des caractéristiques spectrales appropriées pour pouvoir couvrir des distances cibles dépassant celles définies pour les applications à longue portée.

6.2.3 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, et pour couvrir les 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 maximales moyennes injectées supérieures à celles des Tableaux 2 à 4, 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 la publication CEI 60825.

6.2.4 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.

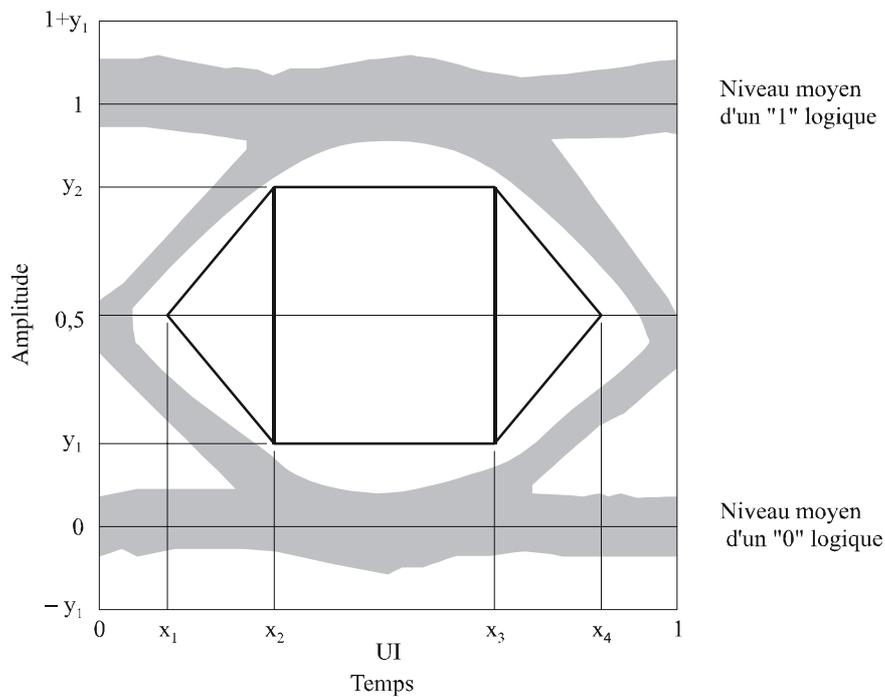
Le taux d'extinction (EX) est défini comme suit:

$$EX = 10 \log_{10} \left(\frac{A}{B} \right)$$

où A est le niveau de puissance optique moyen au centre du "1" logique et B le niveau de puissance optique moyen au centre du "0" logique. Les méthodes de mesure applicables au taux d'extinction sont à l'étude.

6.2.5 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. L'Annexe B traite des dispositifs de mesure pour déterminer le diagramme de l'œil du signal d'émission optique.



	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

G.957_F02

NOTE – 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 de 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

6.3 Conduit optique

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

6.3.1 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. Toutefois, pour que l'implémentation 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 de câble supplémentaire destinée à tenir compte:

- 1) des modifications futures apportées à la configuration des câbles (épaisseurs supplémentaires, accroissement des longueurs de câble, etc.);
- 2) des variations de performances des câbles à fibres dues à des facteurs relevant de l'environnement;
- 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.

6.3.2 Dispersion

Des valeurs maximales de dispersion (ps/nm) sont spécifiées aux Tableaux 2 à 4 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 à 4 avec l'indication NA (non applicable) dans la ligne correspondante.

6.3.3 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 performance 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:

- la perte de retour optique (ORL, *optical return loss*) minimal de l'installation en câble au point S, y compris tous les connecteurs;
- 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 I. En ce qui concerne les mesures de la réflectance et de l'affaiblissement d'adaptation, les points S et R sont censées coïncider avec l'extrémité de chaque fiche de connecteur (voir Figure 1). 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 à 4, 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 à 4, 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 et 4, 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 performance, aucune valeur n'est spécifiée pour les paramètres de réflexion associés et cela est indiqué dans les Tableaux 2 à 4 par l'inscription NA (non applicable). 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 à 4 est pour étude ultérieure.

6.4 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.

En outre, pour le bon fonctionnement du système, il faut que le récepteur tolère les régions de débit de transition relativement faible des signaux SDH, en raison de la structure du format de trame SDH (Rec. UIT-T G.707/Y.1322). L'Appendice II propose une méthode d'évaluation de l'insensibilité du sous-système de réception à la présence de deux chiffres consécutifs identiques.

6.4.1 Sensibilité du récepteur

La sensibilité du récepteur est définie comme la valeur minimale de puissance moyenne reçue au point R pour obtenir un BER de 1×10^{-10} . Elle doit être atteinte au moyen d'un émetteur avec des valeurs de gabarit du diagramme de l'œil de l'émetteur, de taux d'extinction, d'affaiblissement d'adaptation optique au point S, de dégradations du connecteur du récepteur et de tolérances de mesure correspondant au cas le plus défavorable. La sensibilité du récepteur n'a pas à être atteinte en cas de dispersion, ou de réflexions dues au conduit optique; ces effets sont spécifiés à part dans l'attribution d'une pénalité maximale due au conduit optique.

NOTE – La sensibilité du récepteur n'a pas à être atteinte en cas de dépassement de la gigue de l'émetteur par rapport à la limite appropriée de production de gigue (par exemple, la limite définie dans la Rec. UIT-T G.783 pour les signaux optiques affluents en hiérarchie numérique synchrone).

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. Les sensibilités du récepteur spécifiées dans les Tableaux 2 à 4 sont des valeurs fin de vie correspondant aux cas les plus défavorables.

6.4.2 Saturation du récepteur

Le niveau de saturation du récepteur est la valeur maximale acceptable de la puissance moyenne reçue au point R pour un BER de 1×10^{-10} .

6.4.3 Réflectance du récepteur

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

6.4.4 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 de modes et aux variations de longueur d'onde d'émission du laser (*chirp*).

7 Valeurs des paramètres optiques pour les applications SDH

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

8 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 à 4 pour obtenir une méthode commune de conception de systèmes pour l'ingénierie des liaisons optiques de la hiérarchie numérique synchrone.

8.1 Hypothèses de conception

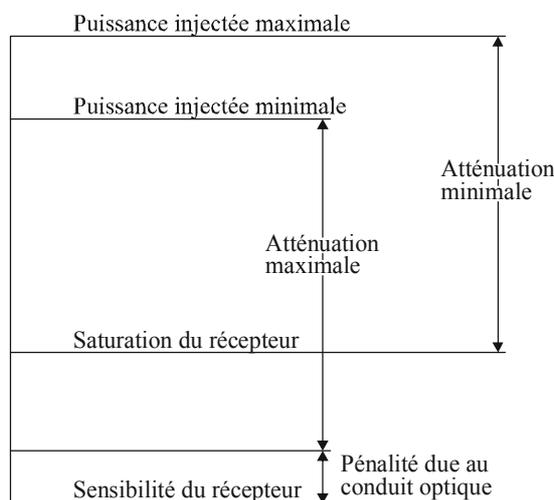
Afin d'obtenir le plus grand nombre de possibilités d'applications avec le plus petit nombre de spécifications de composants d'interfaces optiques, on suppose trois catégories d'interfaces pour chaque niveau de la hiérarchie numérique synchrone. Ces catégories se différencient par des régimes différents 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 fin de vie 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 des conditions de fonctionnement standards. On reconnaît, dans certains cas, que cela peut aboutir à des conceptions de systèmes plus conservatrices que celles que l'on pourrait obtenir avec une ingénierie conjointe 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.

8.2 Méthode de conception du cas le plus défavorable

Dans la méthode de conception du cas le plus défavorable, les paramètres optiques des Tableaux 2 à 4 sont liés, comme illustré à la Figure 3. 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 étroite. 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 § 6.4.4 et aux Tableaux 2 à 4 du fait qu'une valeur supérieure peut aboutir à une dégradation rapide de la performance du système.



G.957_F03

Figure 3/G.957 – Liaison entre les paramètres optiques

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.

8.3 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 ci-dessous 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 ci-dessus 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 la Rec. UIT-T G.955.

8.4 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 Rec. UIT-T G.955 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 Rec. UIT-T G.955, 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 reflète 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.

8.5 Ingénierie commune

Dans un certain nombre de cas, on pourra envisager des études techniques communes pour définir les paramètres de sections optiques lorsque les spécifications d'interface de la présente Recommandation seront inadéquates, situation qui se produira probablement lorsque la valeur d'affaiblissement par section sera supérieure (par exemple 2 dB) à la valeur spécifiée dans la présente Recommandation mais qui pourra également intervenir dans le cas d'autres paramètres.

Dans de tels cas, il appartiendra aux Administrations/opérateurs concernés de spécifier de façon plus rigoureuse les aspects du système pour lesquels les spécifications de la présente Recommandation ne sont pas satisfaisantes. Il importe de souligner ici que toute situation appelant une "ingénierie commune" sera probablement spécifique – de sorte qu'il serait inutile de chercher à normaliser les valeurs des paramètres de ces systèmes. Il faudra plutôt que les Administrations/opérateurs concernés s'entendent sur les critères à respecter et procèdent ensuite à des négociations avec les fabricants quant aux possibilités réelles. Dans un tel processus, les deux extrémités de la liaison de transmission seront très souvent fournies par le même fabricant, car seule une optimisation parallèle des émetteurs et des récepteurs permettra de respecter les critères fixés.

Il faut néanmoins souligner que s'il serait effectivement futile de spécifier des valeurs de paramètre applicables à des systèmes élaborés dans le cadre d'une approche "d'ingénierie commune", il serait bon que les Administrations/opérateurs ou fabricants concernés suivent les directives générales et l'approche technique de la présente Recommandation. Il serait notamment utile d'utiliser les mêmes définitions de paramètre (par exemple, sensibilité du récepteur au point de référence R, conditions de température, caractéristiques de vieillissement, etc.).

Annexe A

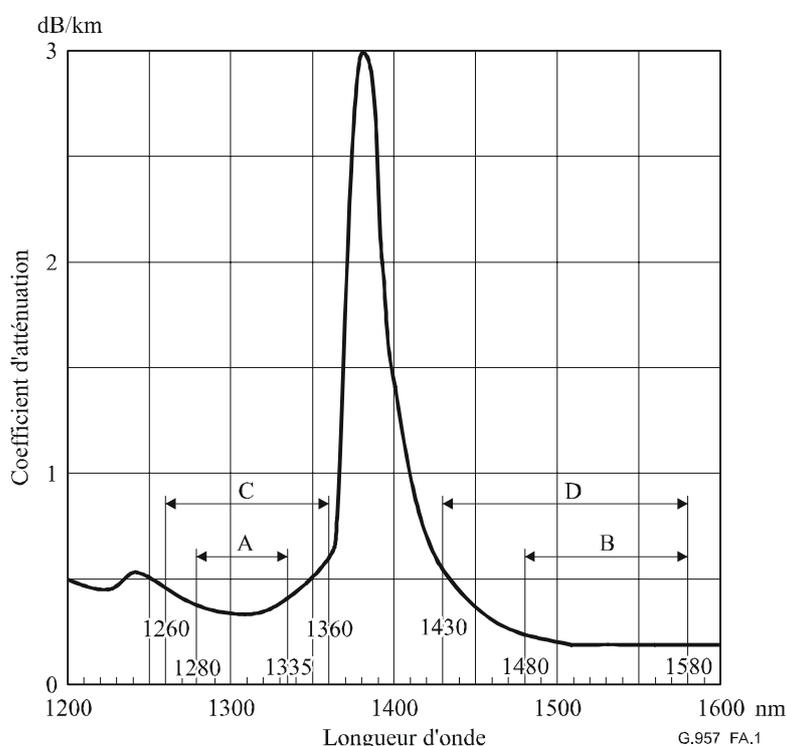
Considérations relatives à la longueur d'onde de fonctionnement du système

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

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 la présente Recommandation, est illustrée par la Figure A.1. Les pertes dues aux épissures de raccordement à la pose, aux épissures de réparation et à l'influence de la gamme de températures de fonctionnement sont incluses. La Rec. UIT-T 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.

Les gammes de longueurs d'onde indiquées dans les Tableaux 2 à 4 ont été confirmées par des données fournies par les constructeurs de fibres et combinées à des hypothèses de marge totale tenant compte du câblage, des épissures d'installation, des épissures de réparation et de la gamme de températures de fonctionnement. Les valeurs maximales de référence du coefficient d'atténuation indiquées ci-après sont donc jugées appropriées, mais seulement pour les calculs des systèmes: 3,5 dB/km en cas d'application intrastation, 0,8 dB/km en cas d'application interstation à courte portée, 0,5 dB/km et 0,3 dB/km en cas d'application interstation à longue portée respectivement à 1310 nm et 1550 nm. Il est indiqué que, en utilisant ces valeurs de coefficient d'atténuation, on peut obtenir les distances cibles approximatives mentionnées dans le Tableau 1.



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).

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

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

Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.652, la longueur d'onde d'annulation de la dispersion est comprise entre 1300 nm et 1324 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-a. Toutefois, les fibres conformes à la Rec. UIT-T 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.2-b.

Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T 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. Les fibres conformes à la Rec. UIT-T 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 Rec. UIT-T G.957.

Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.654 dans la région des 1550 nm, le coefficient de dispersion est analogue, mais légèrement supérieur à celui des fibres conformes à la Rec. UIT-T G.652. Ce point est encore à l'étude et n'a pas été pris en compte dans les Tableaux 2 à 4.

Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.652 dans la région des 1310 nm et pour celles conformes à la Rec. UIT-T G.653 dans la région des 1550 nm, la gamme de longueurs d'onde limite pour la dispersion est choisie de manière 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.2-a et de la Figure A.3, les valeurs absolues de dispersion sont donc plus faibles dans la gamme de longueurs d'onde de fonctionnement.

Pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.654 ainsi que pour celles conformes à la Rec. UIT-T G.652 dans la région des 1550 nm, la Figure A.2-b 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.

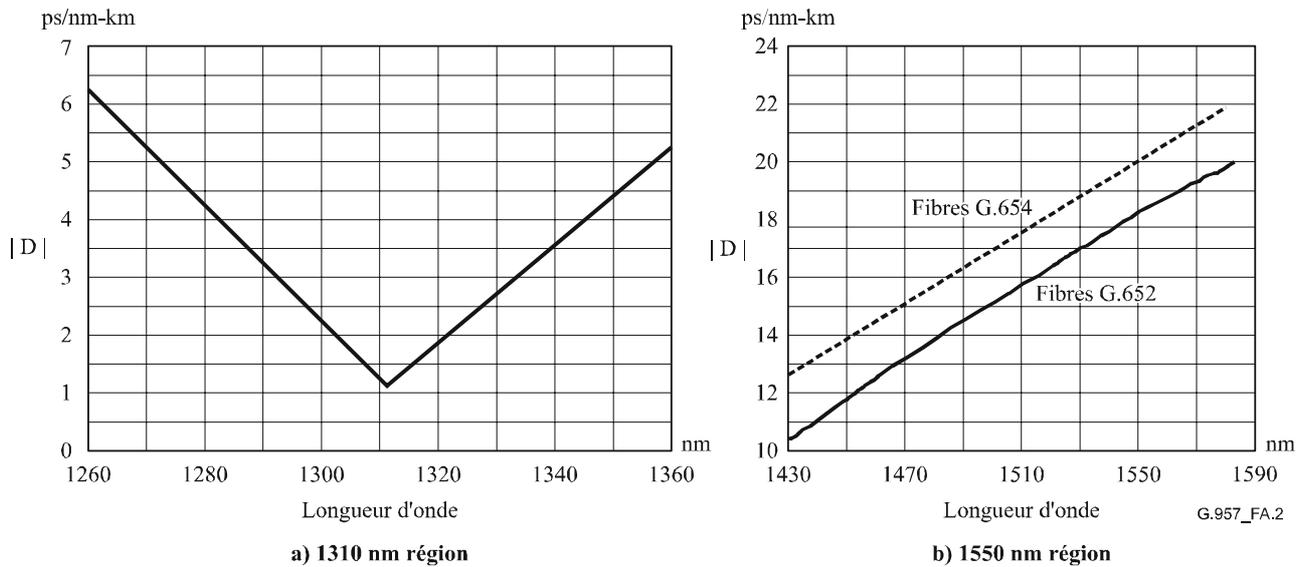


Figure A.2/G.957 – Valeur absolue maximale, $|D|$, du coefficient de dispersion pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.652 (—) et à la Rec. UIT-T G.654 (---)

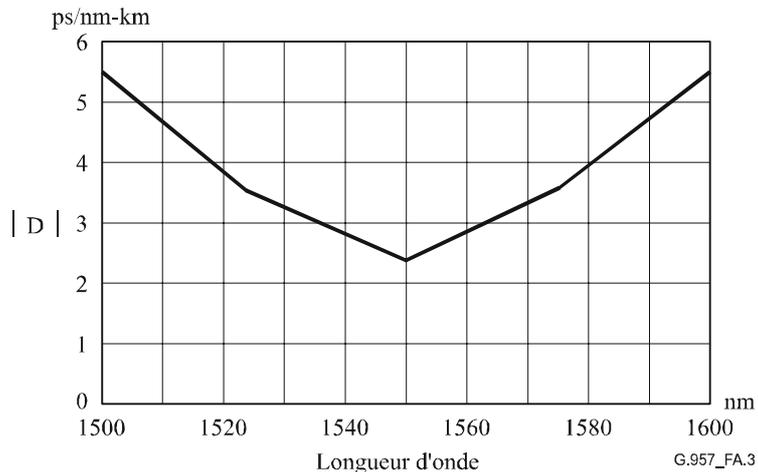


Figure A.3/G.957 – Valeurs absolues maximales, $|D|$, du coefficient de dispersion pour les fibres conformes à la Rec. UIT-T G.653

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 est appliquée aux LED et aux lasers SLM. La largeur à 20 dB pour des lasers SLM a été considérée comme étant 6,07 fois la largeur efficace. (Dans le cas de L-16.2 uniquement, 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. (Pour les applications I-1 et I-4, de grandes valeurs de largeur spectrale ne sont 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.

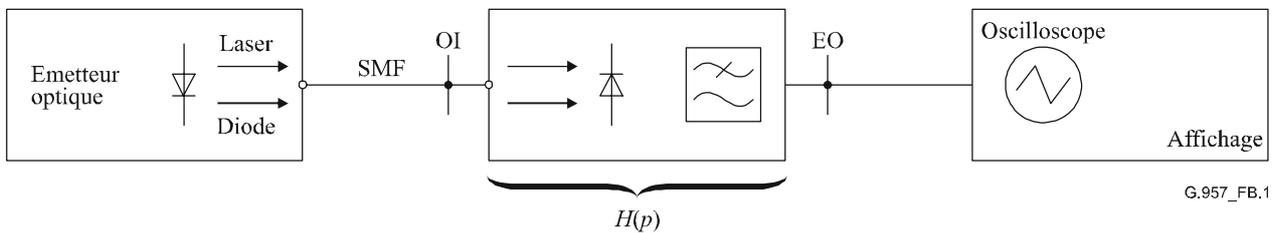
Pour une largeur spectrale donnée, la dispersion due au conduit optique est fixée pour un code d'application donné. En utilisant la distance appropriée indiquée dans le Tableau 1, on obtient le coefficient maximal de dispersion autorisé. La dépendance spectrale du coefficient de dispersion détermine 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 UIT-T G.652, G.653 ou G.654 doit faire l'objet d'un complément d'étude.)

Annexe B

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

B.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 B.1 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 comprennent les erreurs de mesure telles que le bruit de l'oscilloscope d'échantillonnage et les écarts de fabrication du filtre passe-bas.



G.957_FB.1

$H(p)$	Fonction de transfert du récepteur optique de référence y compris la fonction de transfert du photodétecteur et du filtre passe-bas électrique
SMF	Fibre monomode. Moins de 10 m de fibre optique conforme aux Recommandations UIT-T G.652, G.653 ou G.654
OI, EO	Points de référence pour l'entrée optique (OI, <i>optical input</i>) et la sortie électrique (EO, <i>electrical output</i>)

Figure B.1/G.957 – Dispositif de mesure du diagramme de l'œil de l'émetteur

B.2 Fonction de transfert du récepteur optique de référence

La fonction de transfert nominale du récepteur optique de référence correspond à la réponse d'un filtre de Bessel-Thomson du quatrième ordre suivante:

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

avec:

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}$$

$$y = 2,1140p$$

$$\omega_r = 1,5\pi f_0$$

$$f_0 = \text{débit}$$

La fréquence de référence est $f_r = 0,75 f_0$. L'atténuation nominale à cette fréquence est de 3 dB, l'atténuation à la fréquence $0,03 f_r$ étant de 0 dB. L'atténuation correspondante et la distorsion du temps de propagation de groupe à diverses fréquences sont données au Tableau B.1. La Figure B.2 illustre un montage simplifié du filtre passe-bas utilisé pour mesurer le diagramme de l'œil du signal optique d'émission.

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

Tableau B.1/G.957 – Valeurs nominales de l'atténuation et de la distorsion 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

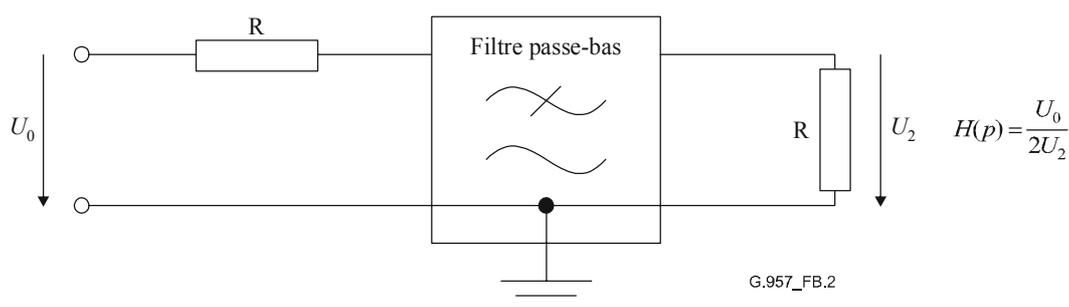


Figure B.2/G.957 – Filtre passe-bas du récepteur permettant de mesurer le diagramme de l'œil de l'émetteur

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 B.2. 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 B.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.
 NOTE – Les valeurs intermédiaires de Δa doivent faire l'objet d'une interpolation linéaire sur une échelle de fréquence logarithmique.

Appendice I

Méthodes permettant de mesurer les réflexions

L'on utilise en général deux méthodes. Le réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel (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, *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 2×1 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 jarrettière ayant à l'extrémité une valeur de réflectance connue. La valeur de cette réflectance peut avoisiner 0 (ce que l'on obtient avec une adaptation soigneuse des indices et un petit rayon de courbure de la fibre) ou avoisiner $-14,5$ dB (comme avec une bonne fracture) ou toute réflectance connue R_0 (comme avec une fracture imparfaite ou avec un mince film de revêtement). La connexion entre la jarrettière et l'instrument doit avoir une faible réflectance.

I.1 Réflectomètre optique dans le domaine fréquentiel

La nomenclature du coupleur est illustrée à la Figure I.1 et les mesures d'étalonnage suivantes n'ont besoin d'être réalisées qu'une fois. 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 jarrettière non réfléchissante est reliée à l'accès 3 pendant que la puissance P_0 est mesurée à l'accès 2.

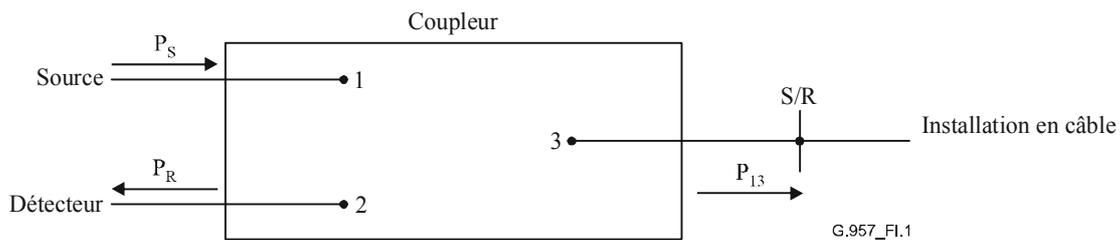


Figure I.1/G.957 – Montage du coupleur pour un OTDR et un OCWR

Pour mesurer la réflectance du détecteur, le connecteur au point R est relié à l'accès 3; pour mesurer l'affaiblissement d'adaptation optique 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'affaiblissement d'adaptation optique de l'installation en câble est le suivant:

$$ORL = -R$$

I.2 Réflectomètre optique dans le domaine temporel

Là le coupleur est habituellement intégré à l'instrument. Une atténuation optique variable ainsi qu'une amorce de fibre de longueur s'étendant au-delà de la zone morte de l'instrument sont fournies si elles ne font pas partie intégrante de l'instrument. Les mesures d'étalonnage suivantes n'ont besoin d'être réalisées qu'une fois. Une jarretière de réflectance R_0 connue est connectée, ce qui donne une trace sur l'OTDR illustrée schématiquement à la Figure I.2. L'atténuation optique est ajustée jusqu'à ce que le pic de réflexion tombe juste en dessous du niveau de saturation de l'instrument, et on note alors une hauteur de pic H_0 . Le facteur d'étalonnage:

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

est calculé. (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 discrète maximale entre S et R, l'OTDR est relié au point S ou R. On note une hauteur de crête H pour une réflectance donnée. La valeur qui en résulte est la suivante:

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

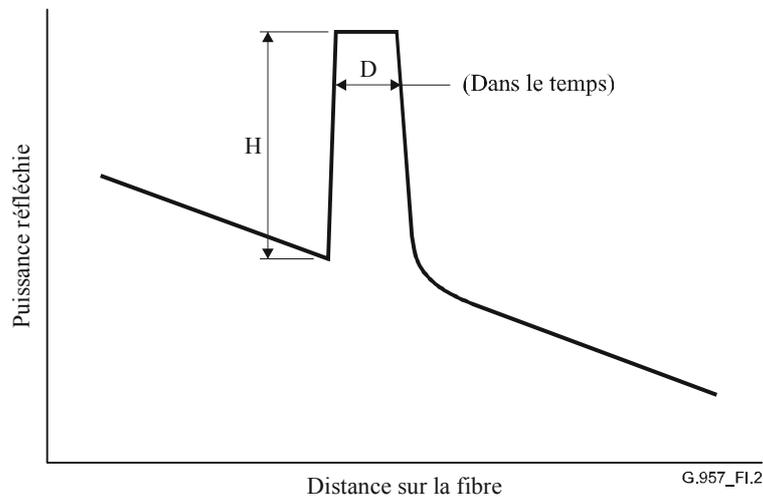


Figure I.2/G.957 – Trace de l'OTDR pour un réflecteur isolé

Appendice II

Méthode de mesure de l'insensibilité à la présence de chiffres consécutifs identiques (CID, *consecutive identical digit*)

II.1 Introduction

Dans la structure des signaux de type STM-N, la possibilité d'apparition d'erreurs sur les bits est particulièrement élevée dans certaines régions du flux de données, en raison de la structuration de ces données dans les régions en question.

On peut distinguer trois cas principaux:

- 1) erreurs résultant de la fermeture de l'œil, le niveau moyen du signal ayant tendance à varier en fonction de la densité de séquence et en raison de couplages alternatifs ("dérapage CC");
- 2) erreurs dues à l'incapacité du circuit de reprise de synchronisation à assurer la continuité entre groupes de données contenant très peu d'informations de synchronisation, sous forme de transitions;
- 3) erreurs dues à la même incapacité du circuit de reprise de synchronisation qu'en 2) ci-dessus, mais aggravées par la présence des premiers octets d'en-tête de section STM-N précédant une séquence à faible contenu de synchronisation (octets à faible contenu de données, particulièrement lorsque N a une valeur élevée).

La méthode d'évaluation de l'insensibilité d'un bloc de circuits à la présence de chiffres identiques consécutifs (insensibilité CID) proposée ci-après permettra de vérifier la capacité d'un équipement STM-N à fonctionner sans erreur dans les conditions précitées.

On pourra employer cette méthode au stade de la conception de l'équipement ou à certaines étapes du processus d'assemblage.

On pourra utiliser des séquences numériques alternées pour vérifier la précision de la reprise de synchronisation et la qualité de fonctionnement des équipements STM-N aux basses fréquences.

Des séquences d'essais appropriées sont définies ci-dessous et à la Figure II.1.

L'essai n'a pas pour objet de simuler les conditions qui pourraient être observées dans des situations de fonctionnement atypiques.

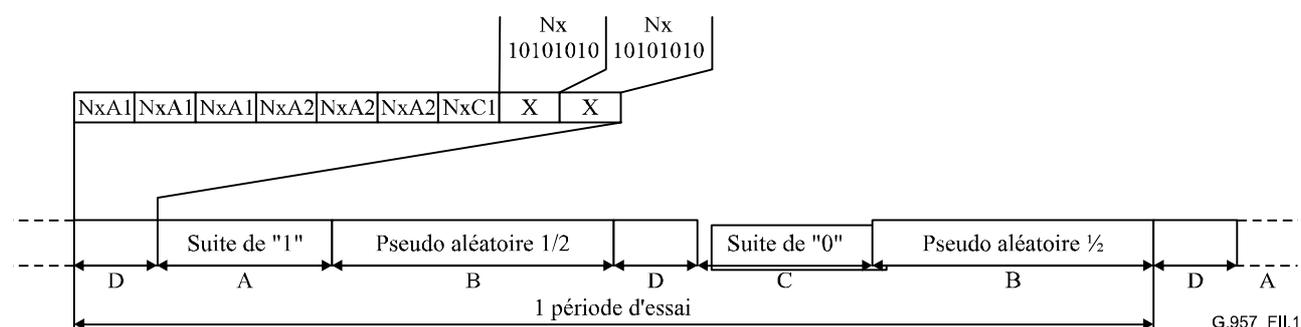


Figure II.1/G.957 – Séquence d'essai de dépendance de suite STM-N

II.2 Méthode

Les séquences d'essai sont constituées de blocs consécutifs de données de quatre types différents:

- a) suite de "1" (contenu de synchronisation nul, amplitude moyenne du signal élevée);
- b) suite de données pseudo aléatoire avec une densité de marqueurs de 1/2;
- c) suite de zéros (contenu de synchronisation nul, amplitude moyenne du signal faible);
- d) bloc de données composé de la première rangée d'octets d'en-tête de section du système STM-N essayé.

L'illustration de la Figure II.1 permet d'identifier les régions A, B, C et D.

La durée des périodes A et C à contenu de synchronisation nul est égale aux séquences d'éléments analogues les plus longues attendues dans le signal STM-N. Une valeur de neuf octets (72 bits) est provisoirement proposée.

La durée des périodes pseudo aléatoires doit permettre le rétablissement du décalage de ligne de base nulle du signal et du circuit de rétablissement de synchronisation après les périodes A et C. Elle doit donc être supérieure à la constante de temps la plus élevée du sous-système de réception. Dans le cas d'une extraction de données d'horloge par boucle à verrouillage de phase, on peut obtenir une valeur de l'ordre de 10 000 bits. Compte tenu des éventuelles limitations des équipements d'essai, on considère une valeur minimale de 2000 bits comme acceptable.

Le contenu de la section pseudo aléatoire doit être généré par un brouilleur à polynôme Rec. UIT-T G.707/Y.1322. Dans l'idéal, le brouilleur doit fonctionner de façon autonome, c'est-à-dire que le début de la séquence ne doit pas être corrélé avec la section d'alignement de trame. Ainsi, on aura la certitude d'obtenir à un moment donné du test l'insertion la plus défavorable possible de la séquence binaire pseudo aléatoire (PRBS, *pseudo-random binary sequence*). Toutefois, il est admis que, compte tenu des limitations des équipements d'essai, il n'est pas toujours possible d'utiliser un brouilleur fonctionnant de façon indépendante, et il est donc parfois nécessaire de spécifier le scénario d'insertion le plus défavorable, mais cette question appelle un complément d'étude.

La période D est par définition la première rangée de l'en-tête de section du signal STM-N, comprenant les octets C1 valables (nombres binaires consécutifs) (voir le § 9.2/G.707/Y.1322).

Il est recommandé d'appliquer ce test aux systèmes SDH chaque fois que cela paraît utile pendant la conception ou la production des équipements, afin de démontrer la capacité des circuits de reprise de synchronisation et de décision à traiter correctement des signaux SDH correspondant aux situations les plus défavorables.

Il faut souligner ici que la séquence d'essai peut être rejetée par certains équipements ou entraîner des dysfonctionnements dans certains équipements, en raison par exemple des octets d'alignement de trame présents dans la séquence. Le test sera donc appliqué à des équipements non visés par le phénomène – systèmes de rétablissement de la synchronisation, chaînes d'amplification à la réception, etc.

Toutefois, le test pourra être appliqué, dans certains cas, au niveau des ports utilisateurs disponibles. Ce test n'est pas proposé comme test d'acceptation générale pouvant exiger des ports d'accès spécifiquement définis et des connexions spéciales dans l'équipement.

Appendice III

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 sensibilité du récepteur utilisées dans la présente Recommandation.

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

La Figure III.1 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 .

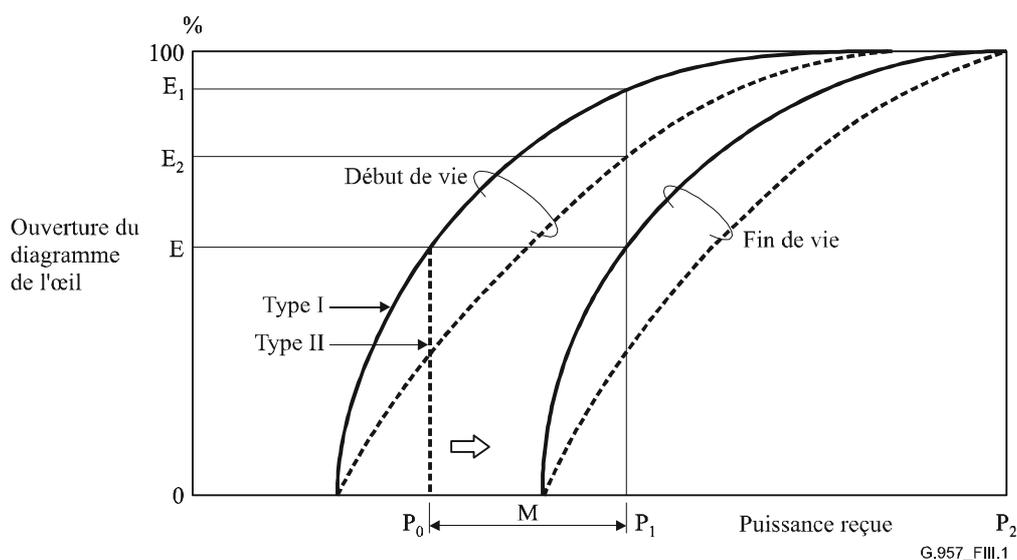


Figure III.1/G.957 – Caractéristiques du diagramme de l'œil

On peut supposer que les effets du vieillissement sur les performances du récepteur se traduisent par une translation de la courbe d'ouverture de l'œil en fonction de la puissance optique reçue, tel qu'indiqué dans la Figure III.2. 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 de test proposée pour évaluer l'ouverture de l'œil par cette technique est appelée test S/X .

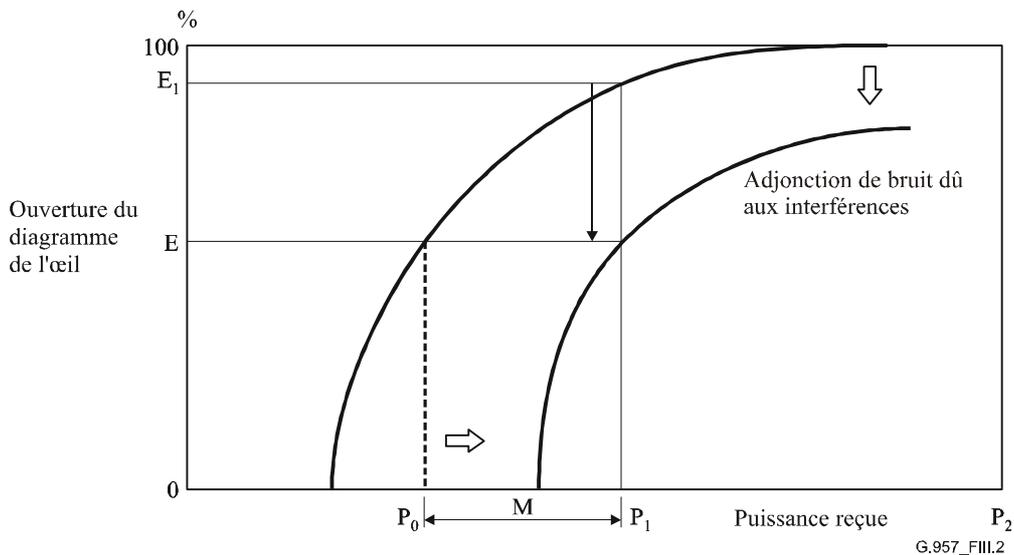


Figure III.2/G.957 – Ouverture du diagramme de l'œil due aux interférences entre les symboles

III.2 Méthode de test S/X

Pour simuler le bruit dû à l'interférence intersymbole, le test S/X est réalisé en utilisant un signal NRZ modulé à une fréquence basse par rapport au débit 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 le test 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. Il ressort de la Figure III.3 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 $(S/X)_E$ sont données par:

$$M = P_1 - P_0$$

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

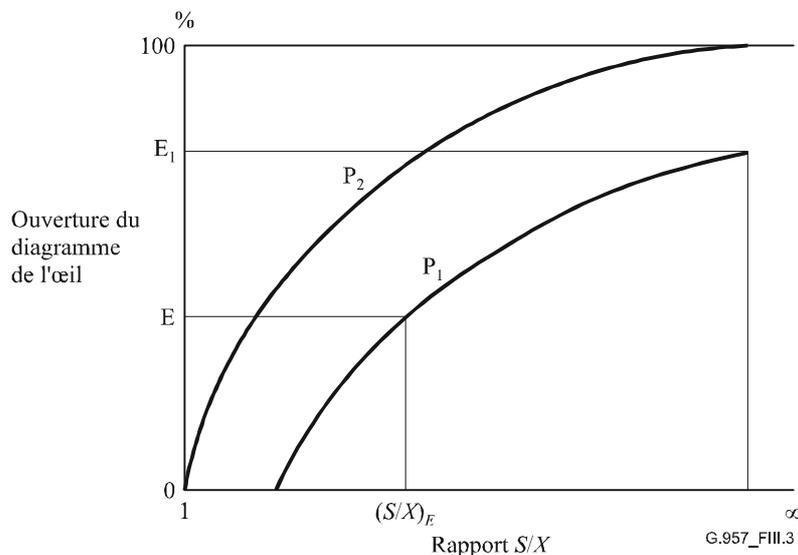


Figure III.3/G.957 – Paramètre d'ouverture du diagramme de l'œil et rapport S/X

Appendice IV

Exemples de possibilités d'évolution

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

IV.1 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 maximales ci-après pour les applications à longue portée:

- STM-1 28 dB;
- STM-4 24 dB;
- STM-16 24 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'atténuation la plus faible (c'est-à-dire pour le niveau hiérarchique le plus élevé) prévue 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 Rec. UIT-T G.652, le système peut alors fonctionner dans la région des 1550 nm pour obtenir une atténuation inférieure sur les câbles, mais avec une pénalité due à la dispersion plus forte;
- iii) les composants ayant un affaiblissement relativement élevé (par exemple les connecteurs) peuvent être remplacés par des composants à perte moins 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.

IV.2 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 ainsi que la Figure IV.1 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 2
24 dB	–	Niveau 1	Niveau 1

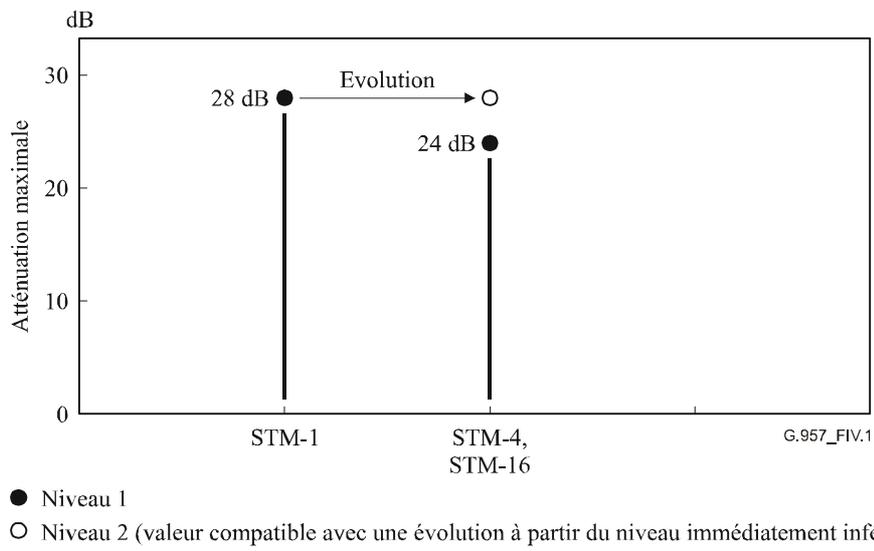


Figure IV.1/G.957 – Atténuations maximales pour les interfaces interstations longue portée STM-N à deux niveaux

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
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	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et 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	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
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 réseaux 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 réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication