

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61282-1

Première édition
First edition
2000-02

**Guides de conception des systèmes
de communications à fibres optiques –**

**Partie 1:
Systèmes numériques et analogiques
à fibres unimodales**

**Fibre optic communication system
design guides –**

**Part 1:
Single-mode digital and analogue systems**



Numéro de référence
Reference number
IEC/TR 61282-1:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 61282-1

Première édition
First edition
2000-02

**Guides de conception des systèmes
de communications à fibres optiques –**

**Partie 1:
Systèmes numériques et analogiques
à fibres unimodales**

**Fibre optic communication system
design guides –**

**Part 1:
Single-mode digital and analogue systems**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Généralités	8
1.1 Domaine d'application.....	8
1.2 Considérations relatives aux performances des systèmes à fibres optiques.....	8
2 Documents de référence	10
3 Système à fibres optiques de base (BFOS)	12
4 Considérations générales relatives à la conception d'un BFOS.....	18
4.1 Conditions d'environnement.....	18
4.2 Valeurs dans le cas le plus défavorable	18
4.3 Attributs généraux du système	18
4.4 Description de l'émetteur	20
4.4.1 Généralités	20
4.4.2 Paramètres de l'émetteur.....	22
4.5 Description du récepteur.....	22
4.5.1 Généralités	22
4.5.2 Paramètres du récepteur (à la fois pour les systèmes numériques et analogiques)	24
4.6 Dispositifs de branchement.....	26
4.7 Affaiblisseurs.....	26
4.8 Dispositifs WDM.....	26
4.9 Amplificateurs optiques.....	28
4.10 Connecteurs.....	28
4.11 Câble de bureau (intérieur)	28
4.12 Installation de câbles entre bâtiments et câbles extérieurs	30
4.13 Marge de fonctionnement et marge de vieillissement.....	32
5 Conception et analyse de transmission d'un système à fibres optiques	32
5.1 Systèmes à fibres optiques limités par la perte.....	34
5.2 Systèmes à fibres optiques limités par dispersion	36
5.2.1 Systèmes numériques	36
5.2.2 Systèmes analogiques.....	36
5.3 Algorithmes de calcul de conception et d'analyse	40
5.3.1 Systèmes numériques	40
5.3.2 Systèmes analogiques.....	40
5.3.3 Systèmes de transmission (SCM) par multiplexage de sous-porteur.....	42
Annexe A Conception statistique du système (approche statistique des gains et pertes).....	46
Annexe B Conception du système dans le cas le plus défavorable (détermination du coefficient de dispersion dans le cas le plus défavorable).....	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General	9
1.1 Scope	9
1.2 Fibre optic systems performance considerations	9
2 Reference documents	11
3 Basic fibre optic system (BFOS)	13
4 General considerations for BFOS design	19
4.1 Environmental conditions	19
4.2 Worst-case values	19
4.3 General system attributes	19
4.4 Transmitter description	21
4.4.1 General	21
4.4.2 Transmitter parameters	23
4.5 Receiver description	23
4.5.1 General	23
4.5.2 Receiver parameters (for both digital and analogue systems)	25
4.6 Branching devices	27
4.7 Attenuators	27
4.8 WDM devices	27
4.9 Optical fibre amplifiers	29
4.10 Connectors	29
4.11 Office (indoor) cable	29
4.12 Interbuilding and outside cable plant	31
4.13 Working margin and ageing margin	33
5 Fibre optic system transmission design analysis	33
5.1 Loss limited fibre optic systems	35
5.2 Dispersion limited fibre optic systems	37
5.2.1 Digital systems	37
5.2.2 Analogue systems	37
5.3 Design and analysis computational algorithms	41
5.3.1 Digital systems	41
5.3.2 Analogue systems	41
5.3.3 Subcarrier multiplexing (SCM) transmission systems	43
Annex A Statistical system design (statistical approach to gain and loss)	47
Annex B Worst-case system design (determination of the worst-case dispersion coefficient)	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDES DE CONCEPTION DES SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 1: Systèmes numériques et analogiques à fibres unimodales

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 61282-1, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
86C/163/CDV	86C/212/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SYSTEM
DESIGN GUIDES –

Part 1: Single-mode digital and analogue systems

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful by the maintenance team.

IEC 61282-1, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
86C/163/CDV	86C/212/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

INTRODUCTION

Ce rapport technique décrit les méthodes de conception d'un système de transmission à fibres optiques unimodales. Ces méthodes décrivent les types d'émetteurs, de fibres et de récepteurs utilisés dans un système, ainsi que les caractéristiques de performance de tout composant passif. La conception d'un système peut être un processus itératif dans lequel différentes associations entre les composants du système sont évaluées. Pour chaque conception de système, plusieurs solutions peuvent être techniquement viables. Le concepteur doit décider quelle solution est la mieux adaptée à l'application particulière.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61282-1:2000

Withdrawn

INTRODUCTION

This technical report describes a methodology for engineering a single-mode fibre optic transmission system. The methods address the types of transmitters, fibres and receivers used in a system, as well as the performance characteristics of any passive components. The system design may be an iterative process in which various trade-offs among system components are evaluated. For each system design, several solutions may be technically viable. The designer must choose which of the viable solutions is best suited to the particular application.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61282-1:2000

Withdrawing

GUIDES DE CONCEPTION DES SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 1: Systèmes numériques et analogiques à fibres unimodales

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

Ce rapport technique fournit un guide méthodologique de conception de système aux utilisateurs et aux fournisseurs de systèmes de transmission à fibres optiques destinés aux télécommunications et aux applications de distribution vidéo large bande. La fonction des systèmes à fibres optiques considérés dans le présent rapport technique consiste à interconnecter des signaux entre des interfaces numériques et analogiques définies, par l'intermédiaire d'une liaison par fibres optiques. En général, les systèmes à fibres optiques sont construits à partir de systèmes à fibres optiques de base (BFOS). Par conséquent, il est nécessaire de considérer seulement le BFOS, qui transmet un signal électrique unique entre deux points sans régénération intermédiaire. Ces lignes directrices sont donc applicables dans la plupart des cas de conception.

Initialement, seuls les systèmes laser appliquant des techniques de détection directe dans les zones 1 310 et/ou 1 550 nm sur les types B1 et B2 de fibres unimodales à dispersion non décalée et décalée sont considérés. Pour les systèmes utilisant des lasers multimodes longitudinaux au-dessus de 0,5 Gb/s environ, les longueurs limitées de dispersion calculée peuvent être relativement faibles. Les systèmes bidirectionnels, dans lesquels une fibre commune est utilisée dans les deux sens de transmission, ainsi que les systèmes unidirectionnels sont couverts par le présent rapport technique.

Dans les articles suivants, les paramètres de conception de transmission sont spécifiés selon leurs valeurs dans le cas le plus défavorable. C'est à l'utilisateur d'exiger, de la part des fournisseurs, une garantie concernant les valeurs dans le cas le plus défavorable sur la durée de vie des composants de leur système respectif. Certains utilisateurs ou concepteurs de système peuvent souhaiter réaliser une analyse et des calculs de conception par le biais d'une approche statistique et exiger des valeurs statistiques pour les paramètres. L'approche statistique est traitée dans l'annexe A. La détermination du coefficient de dispersion dans le cas le plus défavorable est traitée dans l'annexe B.

Certains exemples sont présentés pour clarifier les concepts et pour illustrer l'ordre de grandeur. Les chiffres figurant dans ces exemples sont fournis uniquement à titre indicatif et il convient de ne pas les considérer comme des prescriptions relatives à la conception ou aux performances du système.

1.2 Considérations relatives aux performances des systèmes à fibres optiques

Pour permettre le respect de l'ensemble des critères de performances de bout en bout, des altérations (divergences par rapport à une transmission parfaite) sont apportées au niveau du système à fibres optiques. On réalise cette opération en tenant compte de la gamme d'applications du système, des objectifs de performances et des spécifications s'appliquant avant l'introduction des systèmes de télécommunications à fibres optiques. Ces critères sont susceptibles d'évoluer en raison des avancées technologiques, des changements de conditions économiques et de la nécessité de fournir de nouveaux services.

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SYSTEM DESIGN GUIDES –

Part 1: Single-mode digital and analogue systems

1 General

1.1 Scope

This technical report provides system design methodology guidance to users and suppliers of fibre optic transmission systems for telecommunications and broadband video distribution applications. The function of the fibre optic systems considered in this technical report is to interconnect signals between defined digital and analogue interfaces via a fibre optic link. In general, fibre optic systems are built-up from basic fibre optic systems (BFOS). As a result, it is necessary to consider only the BFOS, which transmits a single electrical signal between two points without intermediate regeneration. Thus, these guidelines are applicable to almost all design cases.

As an initial step, only laser systems using direct detecting technologies in the 1 310 and/or 1 550 nm regions over B1 and B2 types of unshifted and dispersion-shifted single-mode fibres are considered. For systems using longitudinal multi-mode lasers above approximately 0,5 Gb/s, the calculated dispersion limited lengths may be conservatively low. Bidirectional systems, in which both directions of transmission use a common fibre, and unidirectional systems are covered in this technical report.

In the clauses which follow, the transmission design parameters are specified by their worst-case values. It is the option of the user to require that suppliers guarantee the worst-case values over the lifetime of their respective system components. Some users or system designers may desire to perform analysis and design calculations via a statistical approach and to request statistical values of the parameters. The statistical approach is covered in annex A. The determination of the worst-case dispersion coefficient is covered in annex B.

Some examples are presented to clarify concepts and to illustrate order of magnitude. The numbers presented in these examples are illustrative only and should not be considered as requirements for system design or performance.

1.2 Fibre optic systems performance considerations

In order to ensure meeting overall end-to-end performance criteria, impairments (deviations from perfect transmission) are allocated to the fibre optic system. This allocation is done considering the range of system applications, performance objectives and specifications in effect prior to the advent of fibre optic communications systems. The criteria are subject to future change for reasons such as advances in technology, changing economic conditions and the need to provide new services.

2 Documents de référence

- CEI 60050(731):1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*
- CEI 60793-1 (toutes les sections), *Fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 60793-2:1998, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits*
- CEI 60794-1-1:1999, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-1: Spécification générique – Généralités*
- CEI 60794-1-2:1999, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-2: Spécification générique – Procédures de base applicables aux essais des câbles optiques*
- CEI 60794-2:1989, *Câbles à fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits*
- CEI 60825-1:1993, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*
- CEI 60825-2:1993, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques*
- CEI 60869-1:1999, *Atténuateurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 60874-1:1999, *Connecteurs pour fibres et câbles optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 60875-1:1996, *Dispositifs de couplage pour fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 60876-1:1994, *Commutateurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 61073-1:1999, *Epissures pour câbles et fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 61280 (toutes les parties), *Procédures d'essai applicables aux sous-systèmes de communication à fibres optiques*
- CEI 61280-4-2:1999, *Procédures d'essai de base des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-2: Installation de câbles à fibres optiques – Affaiblissement des installations de câbles à fibres unimodales*
- CEI 61281-1:1999, *Sous-systèmes de télécommunications par fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 61291-1:1998, *Amplificateurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*
- CEI 61931:1998, *Fibres optiques – Terminologie*
- UIT-T G.911:1997, *Parameters and calculation methodologies for reliability and availability of fibre optic systems*
- UIT-T G.912: —, *Methodologies for deriving fibre optic reliability objectives*¹⁾
- UIT-T G.957:1999, *Optical interfaces for equipment and systems relating to the synchronous digital hierarchy*
- UIT-T G.958:1994, *Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cables*
- NCITS: —, *Fibre Channel; Physical level (FC-O), REV 0.6*¹⁾
- EIA/TIA-559:1989, *Single-Mode Fibre Optic System Transmission Design*

¹⁾ A publier.

2 Reference documents

IEC 60050(731):1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 731: Optical fibre communication*

IEC 60793-1 (all sections), *Optical fibres – Part 1: Generic specification*

IEC 60793-2:1998, *Optical fibres – Part 2: Product specifications*

IEC 60794-1-1:1999, *Optical fibre cables – Part 1-1: Generic specification – General*

IEC 60794-1-2:1999, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*

IEC 60794-2:1989, *Optical fibre cables – Part 2: Product specifications*

IEC 60825-1:1993, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*

IEC 60825-2:1993, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems*

IEC 60869-1:1999, *Fibre optic attenuators – Part 1: Generic specification*

IEC 60874-1:1999, *Connectors for optical fibres and cables – Part 1: Generic specification*

IEC 60875-1:1996, *Fibre optic branching devices – Part 1: Generic specification*

IEC 60876-1:1994, *Fibre optic switches – Part 1: Generic specification*

IEC 61073-1:1999, *Splices for optical fibres and cables – Part 1: Generic specification – Hardware and accessories*

IEC 61280 (all parts), *Fibre optic communication subsystem basic test procedures*

IEC 61280-4-2:1999, *Fibre optic communication system basic test procedures – Part 4-2: Fibre optic cable plant – Single-mode fibre optic cable plant attenuation measurement*

IEC 61281-1:1999, *Fibre optic communication subsystems – Part 1: Generic specification*

IEC 61291-1:1998, *Optical fibre amplifiers – Part 1: Generic specification*

IEC 61931:1998, *Fibre optic – Terminology*

ITU-T G.911:1997, *Parameters and calculation methodologies for reliability and availability of fibre optic systems*

ITU-T G.912: —, *Methodologies for deriving fibre optic reliability objectives*¹⁾

ITU-T G.957:1999, *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*

ITU-T G.958:1994, *Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cables*

NCITS: —, *Fibre channel; Physical level (FC-O), REV 0.6*¹⁾

EIA/TIA-559:1989, *Single-Mode Fibre Optic System Transmission Design*

¹⁾ To be published.

3 Système à fibres optiques de base (BFOS)

Quelle que soit la complexité du réseau optique, il est possible de définir un ensemble de BFOS (selon la définition de la CEI 61281-1), dans lequel chaque BFOS établit uniquement une liaison d'un point à un autre point sans régénération intermédiaire. Des exemples sont fournis dans les figures 1, 2, 3, 4 et 5. Ils ont tous des composants communs qui dépendent de la topologie du réseau.

Par conséquent, il faudra d'abord définir cet ensemble de BFOS. De plus, chaque BFOS sera caractérisé au minimum par:

- le signal électrique en direction de l'émetteur (forme, taux binaire, fréquence, etc.);
- le signal électrique provenant du récepteur (taux d'erreurs sur les binaires, rapport porteur/bruit, etc.);
- la distance;
- l'environnement.

Chaque BFOS est composé d'éléments fonctionnels à interfaces d'entrée et de sortie accessibles (voir les figures 1, 2, 3, 4 et 5), définis dans des conditions spécifiées (voir la CEI 61281-1).

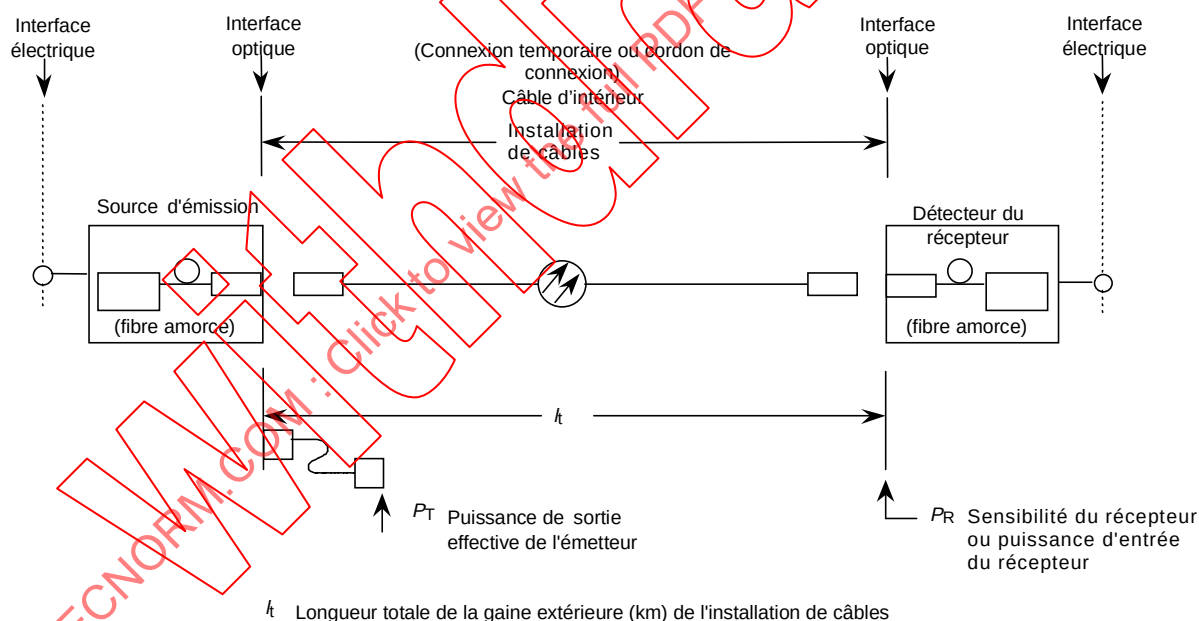


Figure 1 – Exemple de système à fibres optiques de base (BFOS)

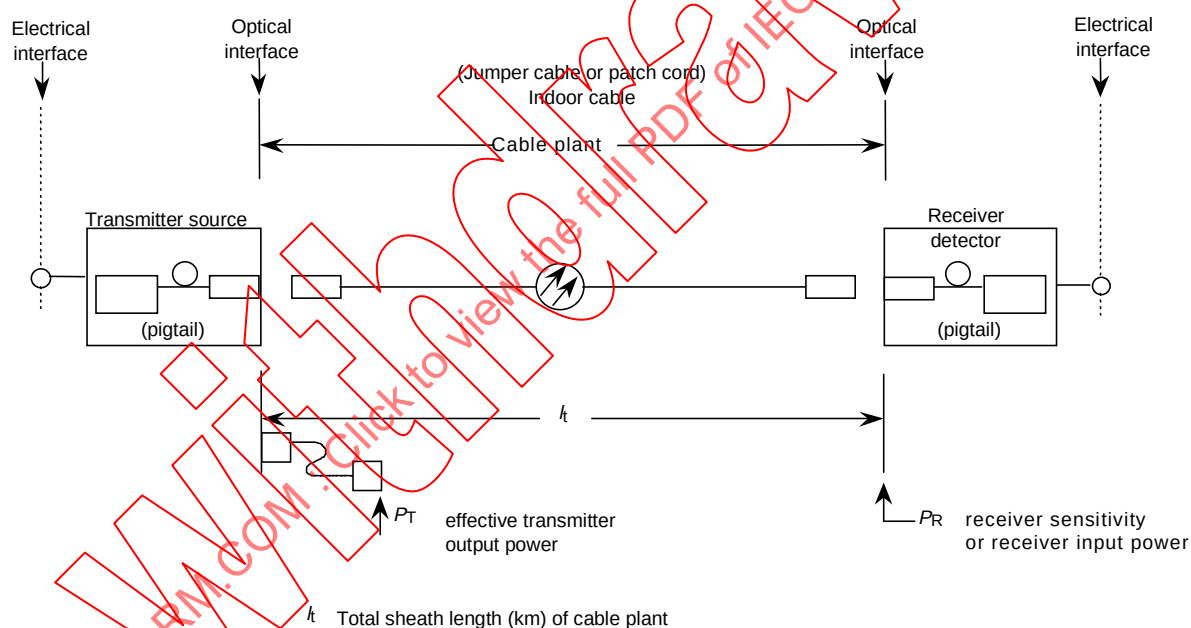
3 Basic fibre optic system (BFOS)

Whatever the complexity of the optical network, it is possible to define a set of BFOSs (as defined in IEC 61281-1), each of them linking only a point to another point without intermediate regeneration. Examples are given in figures 1, 2, 3, 4 and 5. All these have common components which depend on the topology of the network.

Therefore, the first item will be to define this set of BFOSs. In addition, every BFOS will be characterized at minimum by:

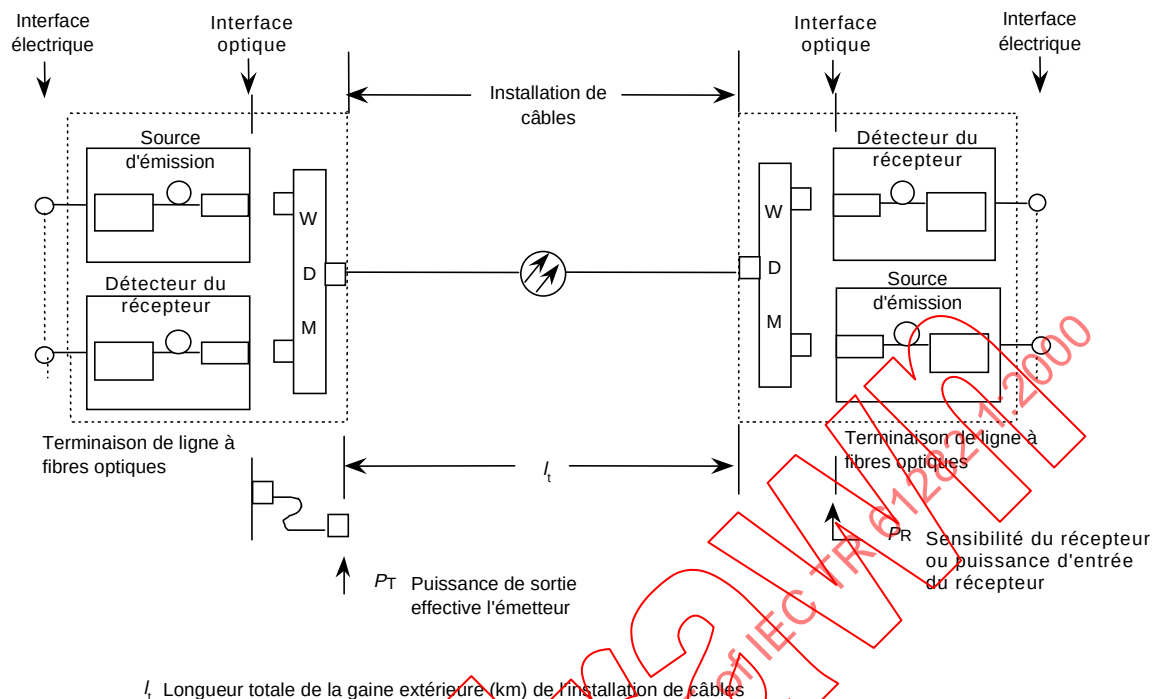
- the electrical signal to the transmitter (form, bit-rate, frequency, etc.);
- the electrical signal from the receiver (bit error rate, carrier to noise ratio, etc.);
- the distance;
- the environment.

Every BFOS is composed of functional elements with accessible input and output interfaces (see figures 1, 2, 3, 4 and 5), defined in specified conditions (see IEC 61281-1).



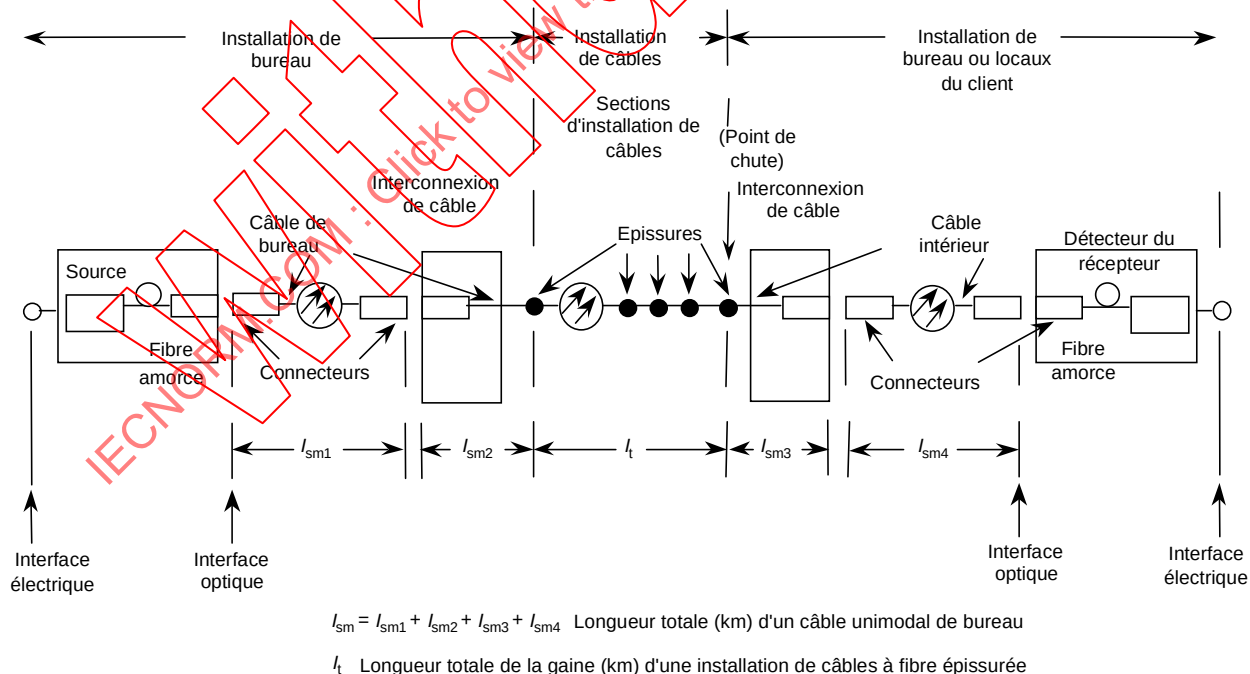
IEC 1772/99

Figure 1 – Example of basic fibre optic system (BFOS)



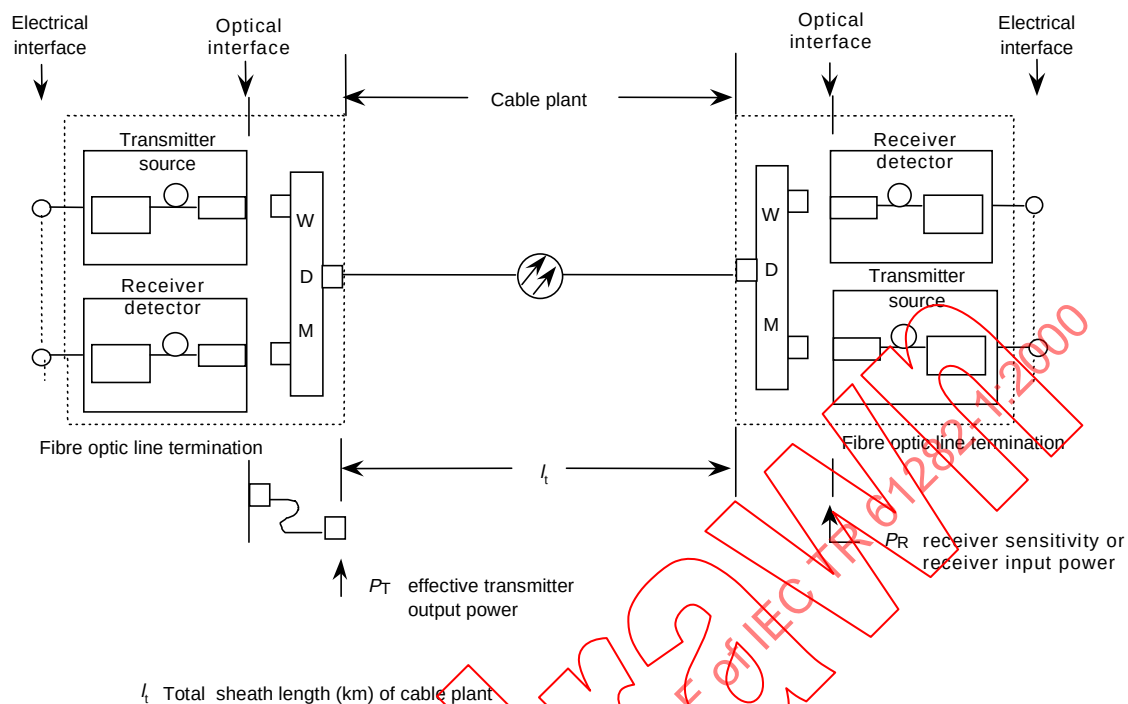
IEC 1773/99

Figure 2 – Exemple de système WDM de base à fibres optiques



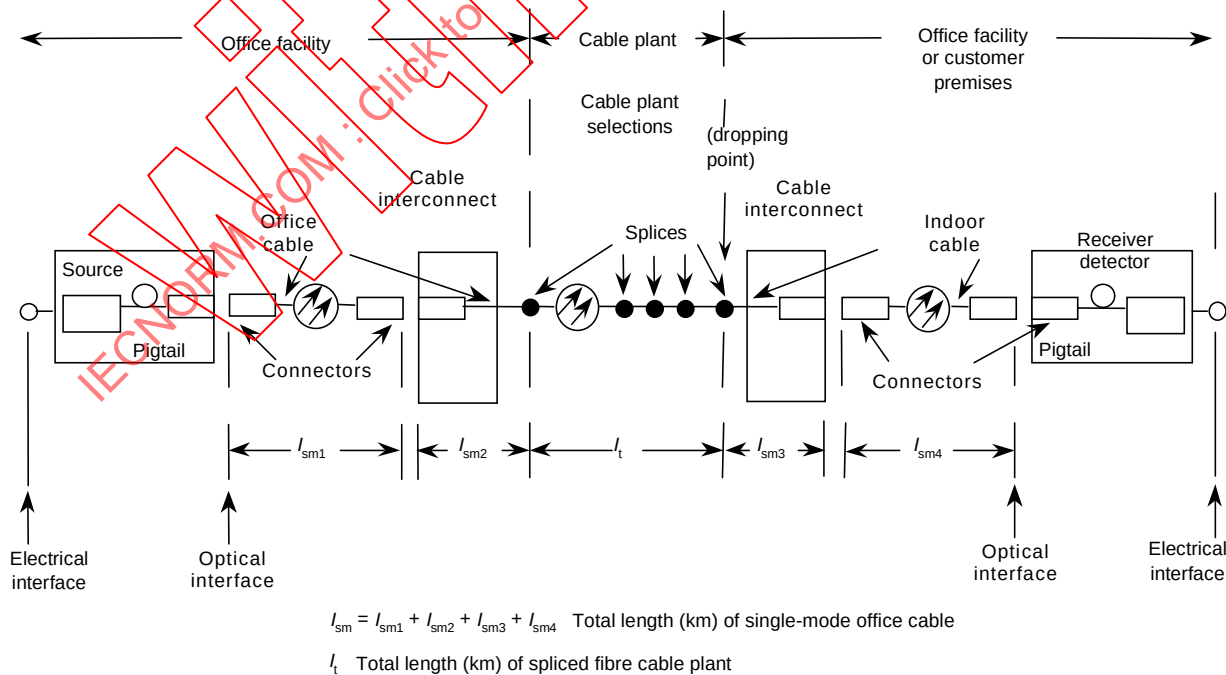
IEC 1774/99

Figure 3 – Exemple de système de communication à fibres optiques



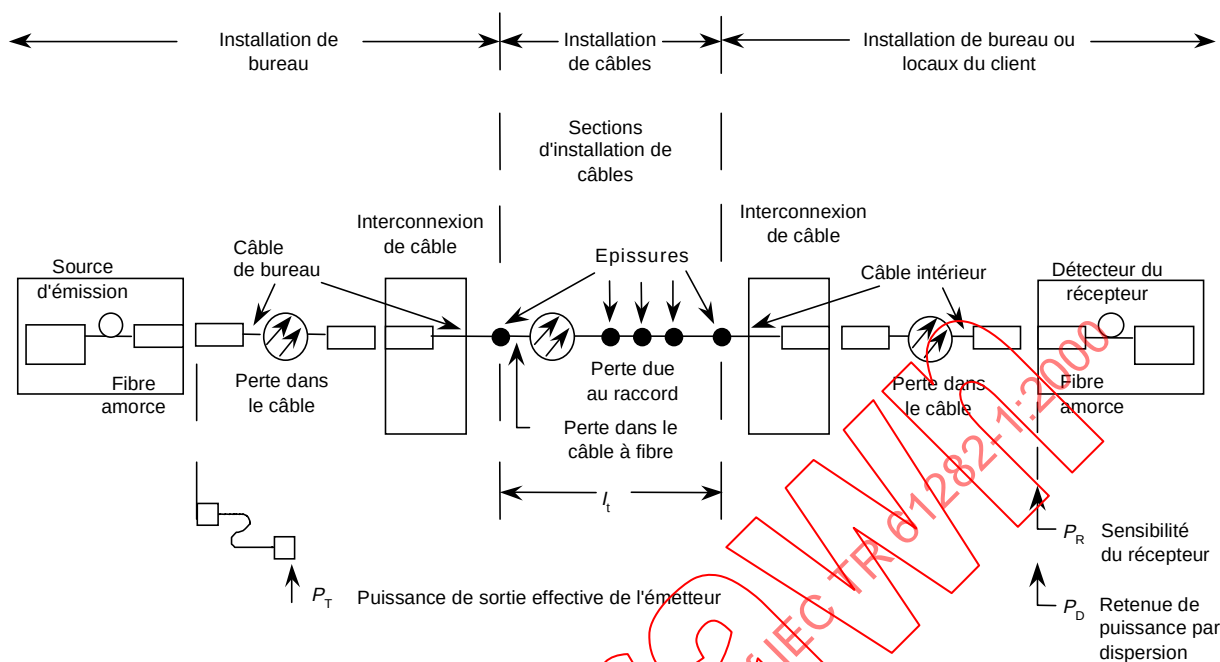
IEC 1773/99

Figure 2 – Example of basic fibre optic WDM system



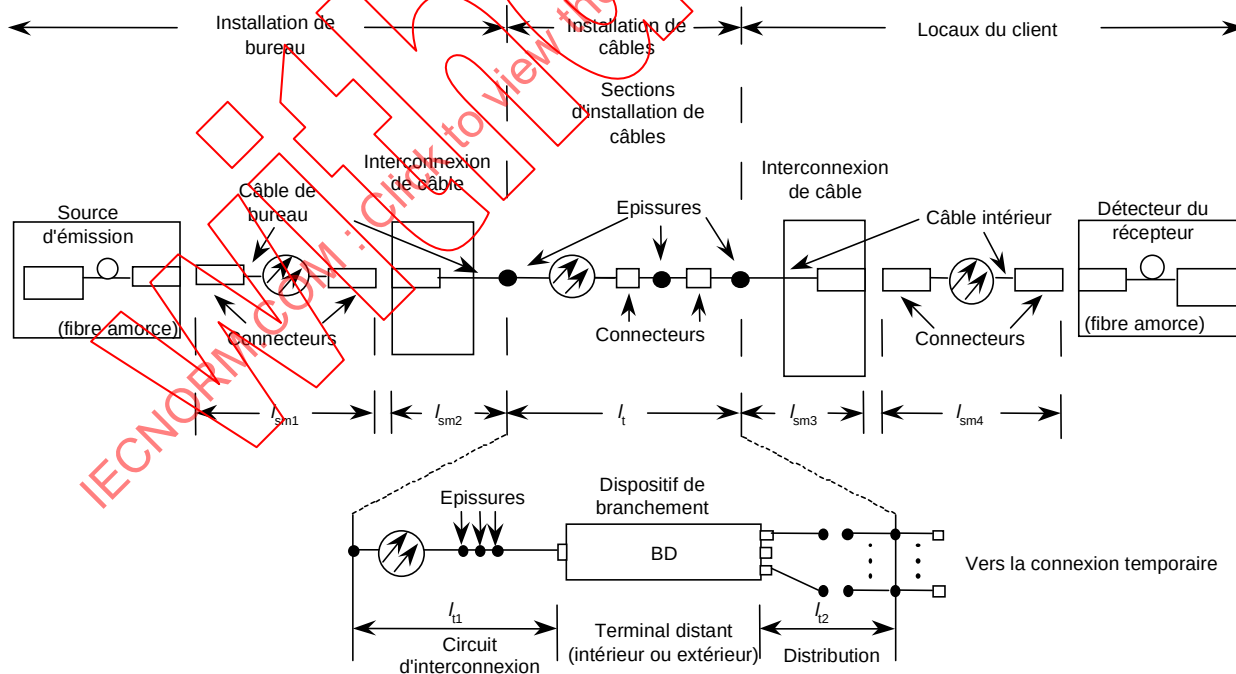
IEC 1774/99

Figure 3 – Example of fibre optic communication system



IEC 1775/99

Figure 4 – Exemple de sources de perte d'installation de bureau/de câbles

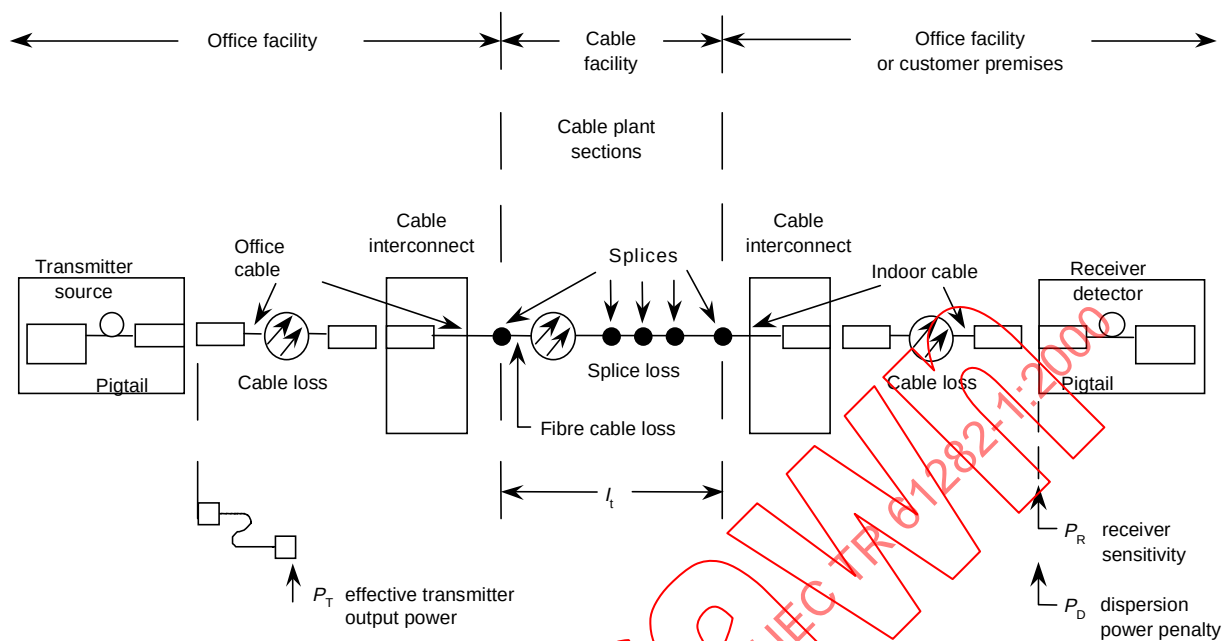


$$l_{sm} = l_{sm1} + l_{sm2} + l_{sm3} + l_{sm4} \quad \text{Longueur totale (km) d'un câble unimodal de bureau/intérieur}$$

$$l_t = l_{t1} + l_{t2} \quad \text{Longueur totale de la gaine extérieure (km) d'une installation de câble à fibre épissurée}$$

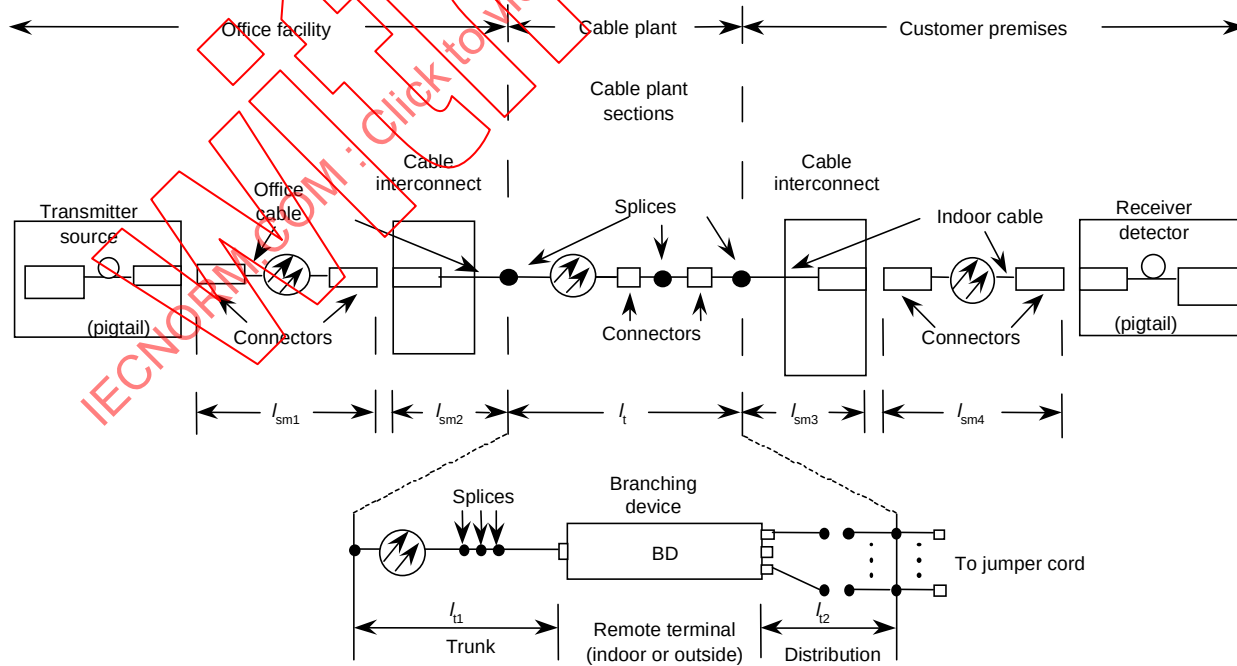
IEC 1776/99

Figure 5 – Exemple de réseau d'accès d'abonné à fibres optiques



IEC 1775/99

Figure 4 – Example of office/cable plant sources of loss



$$l_{sm} = l_{sm1} + l_{sm2} + l_{sm3} + l_{sm4} \quad \text{Total length (km) of single-mode office/indoor cable}$$

$$l_t = l_{t1} + l_{t2} \quad \text{Total sheath length (km) of spliced fibre cable plant}$$

IEC 1776/99

Figure 5 – Example of fibre optic subscriber access network

4 Considérations générales relatives à la conception d'un BFOS

Cet article présente les informations nécessaires pour la conception du BFOS. Les spécifications particulières cadres (BDS) résument ces informations. Ces BDS comprennent les paramètres de dispositifs dans des conditions de fonctionnement normalisées et étendues, normalement fournis par le concepteur du système.

4.1 Conditions d'environnement

Les conditions d'environnement sont spécifiées pour les éléments individuels du BFOS. Les conditions d'environnement peuvent inclure des gammes et des durées de températures, d'humidité, de vibrations et d'autres paramètres. Elles peuvent s'appliquer à des environnements d'essai ou à des environnements de fonctionnement. Des éléments individuels de BFOS sont susceptibles de subir différentes conditions d'environnement en raison des différences d'emplacement physique à l'intérieur du BFOS.

4.2 Valeurs dans le cas le plus défavorable

La valeur d'un paramètre est susceptible de varier en fonction d'un ou plusieurs des facteurs suivants: conditions d'environnement, variations de longueur d'onde, vieillissement et variations de fabrication. La valeur d'un paramètre, dans le cas le plus défavorable, est déterminée par les variations combinées de tous les éléments ci-dessus pendant la durée de vie. Pour des gammes de températures, d'humidité et de longueurs d'ondes, la valeur dans le cas le plus défavorable n'apparaît pas nécessairement au niveau des limites extrêmes de la gamme ou à la fin de la durée de vie.

4.3 Attributs généraux du système

La description générale de l'ensemble du système comprend les éléments suivants:

identification du dispositif d'extrémité

Il convient que l'identification caractérise uniquement le type de produit et fournisse un indicateur identifiable permettant de déterminer les spécifications de produit, les caractéristiques, l'édition ou la révision, ainsi que le fabricant.

a) Pour les systèmes de transmission numériques:

taux binaire de ligne

taux non codé (bits) à l'interface entre l'installation de câbles à fibres optiques et le dispositif d'extrémité

taux binaire de transport

taux binaire interne (bit/s) traité par l'algorithme de codage de ligne pour produire le taux binaire de ligne

code de ligne

suite de symboles représentant la conversion de données binaires pour les besoins de la transmission. Parmi les exemples figurent le code Manchester, le retour-à-zéro, les codes à blocs, l'embrouillage numérique, etc. Les codes de ligne sont utilisés pour faire une extraction de la synchronisation, et dans certains cas, ils peuvent être utilisés pour détecter des erreurs de ligne et pour transmettre des informations supplémentaires

4 General considerations for BFOS design

This clause presents the information needed for the design of the BFOS. Blank detail specifications (BDSs) summarize this information. These BDSs consist of device parameters under standard and extended operating conditions, which the system designer should provide.

4.1 Environmental conditions

Environmental conditions are specified for the individual elements of the BFOS. Environmental conditions may include ranges and durations of temperature, humidity, vibration and other parameters. They may apply to testing environments or operating environments. Individual BFOS elements may see different environmental conditions due to differences in their physical location in the BFOS.

4.2 Worst-case values

The value of a parameter may vary with one or more of the following factors: environmental conditions, wavelength variations, ageing and manufacturing variations. The worst-case value of a parameter is determined by the combined variations of all the above during the lifetime. For ranges of temperature, humidity and wavelength, the worst-case value need not occur at the extremes of the range or at end-of-life.

4.3 General system attributes

The general description of the overall system consists of the following:

terminal device identification

The identification should uniquely characterize the type of product and provide a traceable indicator for determining the product specifications, features, issue or revision, and manufacturer.

a) For digital transmission systems:

line bit rate

the unencoded rate (bit/s) at the boundary between the fibre optic cable plant and the terminal device

transport bit rate

the internal bit rate (bit/s) that is acted upon by the line coding algorithm to result in the line bit rate

line code

a sequence of symbols that the binary data is converted into for purposes of transmission. Examples include Manchester, return-to-zero, block codes, digital scrambling, etc. Line codes are used to recover timing, and in some cases they may be used to detect line errors and to convey additional information

b) Pour les systèmes de transmission analogiques:

largeur de bande de ligne

largeur de bande de l'interface optique (Hz) à la limite entre l'installation de câbles à fibres optiques et le matériel

largeur de bande de transport

largeur de bande de signal électrique modulé (Hz), interne au dispositif d'extrémité, qui, lorsqu'elle est traitée par le programme de modulation/démodulation (par exemple, AM-VSB, FM-FDM, PFM, etc.) donne la largeur de bande de ligne.

4.4 Description de l'émetteur

4.4.1 Généralités

Description de l'émetteur

Il convient que l'unité contenant l'émetteur porte une étiquette fournissant les informations suivantes:

- fabricant;
- identification du matériel;
- application de conception du système, par exemple, numérique, analogique;
- longueur d'onde de fonctionnement;
- niveau de puissance de sortie;
- type de source;
- contrôleur de température;
- isolateur optique incorporé;
- classification laser CEI 60825;
- désignation de changement du produit du fabricant, par exemple, édition, révision.

Type de source optique

Le type de source optique est caractérisé grâce à l'identification des éléments minimaux suivants:

- type de laser;
- matériau composant la source: par exemple, InGaAsP;
- structure du dispositif générique: par exemple, DFB.

Connecteur de l'émetteur

Le connecteur de l'émetteur est le connecteur optique fourni à la sortie de l'émetteur. La description du connecteur de l'émetteur inclut, au minimum:

- type (par exemple, ST, SC, etc.).

Fibre amorce de l'émetteur

L'identification de la fibre amorce de l'émetteur doit inclure les informations suivantes (le cas échéant):

Type général de fibre:

- classe de fibre;
- diamètre du champ de mode.

b) For analogue transmission systems:

line bandwidth

the optical interface bandwidth (Hz) at the boundary between the fibre optic cable plant and the equipment

transport bandwidth

the electrical modulated signal bandwidth (Hz), internal to the terminal device, that when acted upon by the modulation/demodulation scheme (for example, AM-VSB, FM-FDM, PFM, etc.) results in the line bandwidth.

4.4 Transmitter description

4.4.1 General

Transmitter description

The unit containing the transmitter should have a label providing the following information:

- manufacturer;
- equipment identification;
- system design application, for example, digital, analogue;
- operating wavelength;
- output power level;
- source type;
- temperature controller;
- optical isolator incorporated;
- IEC 60825 laser classification;
- manufacturer's product change designation, for example, issue, revision.

Optical source type

The optical source type is characterized by identifying as a minimum:

- type of laser;
- material composition of source: for example, InGaAsP;
- generic device structure: for example, DFB.

Transmitter connector

The transmitter connector is the optical connector provided at the output of the transmitter. The transmitter connector description, as a minimum, includes:

- type (for example, ST, SC, etc.).

Transmitter pigtail

The identification of the transmitter pigtail shall include the following information (if included):

General fibre type:

- class of fibre;
- mode field diameter.

4.4.2 Paramètres de l'émetteur

Il convient de spécifier les paramètres du système de la façon suivante:

longueur d'onde centrale nominale ($\lambda_{t \text{ nom}}$)

valeur nominale de la longueur d'onde centrale de l'émetteur pour l'application considérée.

Il convient que le fournisseur spécifie les éléments suivants:

méthode de mesure de la longueur d'onde centrale (λ_t)

la procédure pour déterminer la longueur d'onde centrale est sélectionnée parmi celles de la CEI 61280-1-3

gamme de longueurs d'onde centrales de l'émetteur ($\lambda_{t \text{ min}}, \lambda_{t \text{ max}}$)

limites de longueur d'onde minimales et maximales, respectivement, de la gamme totale autorisée de longueurs d'onde centrales de l'émetteur provoquées par les variations combinées dans les cas les plus défavorables, dues à la fabrication, aux conditions d'environnement, au vieillissement et à tout autre facteur significatif, selon la description de 4.2

puissance de sortie de l'émetteur (P_T)

valeur minimale, dans le cas le plus défavorable, de la puissance optique (dBm) couplée dans l'installation de câbles (sur le côté d'alimentation du connecteur de l'unité d'émission), mesurée selon la procédure de la CEI 61280-1-1. La valeur minimale dans le cas le plus défavorable combine les variations de fabrication et les conditions d'environnement et le vieillissement, selon la description de 4.2

réflexion optique maximale (OR_{max})

pourcentage maximal (%) de puissance optique totale réfléchi qu'un émetteur peut recevoir en maintenant ses performances indiquées

taux d'extinction (P_e)

dans un système de transmission numérique, rapport (exprimé en dB) entre le niveau de puissance moyen du "1" logique et le niveau de puissance moyen du "0" logique. La valeur minimale dans le cas le plus défavorable combine les variations de fabrication à la température et au vieillissement, selon la description de 4.2

4.5 Description du récepteur

4.5.1 Généralités

Description du récepteur

Il convient que l'unité fournissant le récepteur comporte les informations suivantes:

- fabricant;
- identification du matériel;
- application de conception du système, par exemple, numérique, analogique;
- spécifications de performances du récepteur;
- type de détecteur;
- contrôleur de température;
- désignation de changement du produit du fabricant, par exemple, édition, révision.

4.4.2 Transmitter parameters

The system parameters should be specified as follows:

nominal central wavelength ($\lambda_{t \text{ nom}}$)

the nominal value of the transmitter central wavelength for the application under consideration.

The supplier should specify the following:

measurement method for central wavelength (λ_t)

the procedure for determining the central wavelength is chosen from those in IEC 61280-1-3

transmitter central wavelength range ($\lambda_{t \text{ min}}$, $\lambda_{t \text{ max}}$)

the minimum and maximum wavelength limits, respectively, of the total allowed range of transmitter central wavelengths caused by the combined worst-case variations due to manufacturing, environmental conditions, ageing, and any other significant factors, as described in 4.2

transmitter output power (P_T)

the worst-case minimum value of the optical power (dBm) coupled into the cable plant (on the line side of the transmitter unit connector), as measured utilizing the procedure contained in IEC 61280-1-1. The worst-case minimum value combines manufacturing variations with environmental conditions and ageing, as described in 4.2

maximum optical reflection (OR_{max})

the maximum percent (%) of total reflected optical power that a transmitter can accommodate and maintain its stated performance

extinction ratio (P_e)

in a digital transmission system, the ratio (expressed in dB) of the average power level of logical "1" to the average power level of logical "0". The worst-case minimum value combines manufacturing variations with temperature and ageing, as described in 4.2

4.5 Receiver description

4.5.1 General

Receiver description

The unit providing the receiver should have the following information:

- manufacturer;
- equipment identification;
- system design application, for example, digital, analogue;
- receiver performance specifications;
- detector type;
- temperature controller;
- manufacturer's product change designation, for example, issue, revision.

Type de détecteur optique

Le type de détecteur optique est caractérisé grâce à l'identification, au minimum, des éléments suivants:

- type de dispositif: par exemple, PIN, APD, PIN+FET;
- matériau composant le détecteur: par exemple, Si, InGaAs.

Connecteur du récepteur

Le connecteur du récepteur est le connecteur optique fourni à l'entrée du récepteur. La description du connecteur du récepteur inclut, au minimum:

- type (ST, FC, etc.).

Fibre amorce du récepteur

L'identification de la fibre amorce du récepteur doit inclure les informations suivantes (le cas échéant):

- type général de fibre;
- classe de fibre;
- diamètre de champ de mode.

4.5.2 Paramètres du récepteur (à la fois pour les systèmes numériques et analogiques)

Les paramètres de transmission qu'il convient de spécifier pour l'unité de réception sont les suivants:

sensibilité du récepteur (P_R)

valeur, dans le cas le plus défavorable, de la puissance optique d'entrée (dBm) dans le récepteur (sur le côté d'alimentation du connecteur du module récepteur), selon la description de 4.2, nécessaire pour atteindre le taux d'erreurs binaires ou le rapport porteuse/bruit mesuré en utilisant la procédure décrite dans la CEI 61280-2-1 ou la CEI 61280-3-6. La valeur spécifiée de sensibilité du récepteur doit inclure les dégradations de performances suivantes combinées dans le cas le plus défavorable:

- a) variations décrites selon 4.2;
- b) pénalité de puissance de transmission maximale résultant de l'utilisation d'un émetteur avec un taux d'extinction calculé dans le cas le plus défavorable lorsqu'il fonctionne dans les conditions décrites en 4.2;
- c) pénalité de puissance de transmission maximale résultant de l'utilisation d'un émetteur avec un temps de montée/descente calculé dans le cas le plus défavorable ou distorsion du second ordre composite (CSO) lorsqu'il fonctionne dans les conditions décrites en 4.2.

Il convient de ne pas intégrer dans la sensibilité du récepteur les pénalités de puissance associées à la dispersion (par exemple, élargissement d'impulsion ou dégradation de CNR) ou la réflexion. Celles-ci sont spécifiées séparément par les paramètres P_D et P_P , respectivement.

pénalité de puissance par dispersion (P_D)

Pénalité de puissance maximale (dB) associée à l'augmentation, dans le cas le plus défavorable, du niveau de puissance d'entrée du récepteur pour tenir compte de la distorsion d'impulsion totale due à l'interférence intersymbole (ISI), au bruit de partage de mode (MPN) et à l'effet de modulation de fréquence d'impulsion pour le taux d'erreurs sur les binaires (BER), la dispersion maximale de l'émetteur-récepteur (D_{TR}) spécifiés par le fabricant, et la distorsion totale due à une distorsion du second ordre composite (CSO), pour le rapport porteuse/bruit (CNR) spécifié, selon les indications du fabricant, lorsqu'il fonctionne dans les conditions décrites en 4.2. La procédure de mesure de la pénalité de la puissance par dispersion figure dans la CEI 61280-2 et la CEI 61280-3.

Optical detector type

The optical detector type is characterized by identifying as a minimum:

- type of device: for example, PIN, APD, PIN+FET;
- material composition of detector: for example, Si, InGaAs.

Receiver connector

The receiver connector is the optical connector provided at the input to the receiver. The receiver connector description, as a minimum, includes:

- type (ST, FC, etc.).

Receiver pigtail

The identification of the receiver pigtail shall include the following information (if included):

- general fibre type;
- class of fibre;
- mode field diameter.

4.5.2 Receiver parameters (for both digital and analogue systems)

The transmission parameters which should be specified for the receiver unit are the following:

receiver sensitivity (P_R)

the worst-case value of the input optical power (dBm) to the receiver (on the line side of the receiver module connector), as described in 4.2, that is necessary to achieve the manufacturer specified bit error ratio or carrier to noise ratio as measured utilizing the procedure contained in IEC 61280-2-1 or IEC 61280-3-6. The receiver sensitivity value specified shall include the following performance degradations combined in a worst-case fashion:

- a) variations as described in 4.2;
- b) maximum transmitter power penalty resulting from the use of a transmitter with a worst-case extinction ratio when operated under the conditions described in 4.2;
- c) maximum transmitter power penalty resulting from the use of a transmitter with a worst-case rise/fall time or composite second order distortion (CSO) when operated under the conditions described in 4.2.

The receiver sensitivity should not include power penalties associated with dispersion (for example, pulse broadening or CNR degradation) or reflection. These are specified separately by the parameters P_D and R_P , respectively.

dispersion power penalty (P_D)

The maximum power penalty (dB) associated with the worst-case increase in receiver input optical power level to account for the total pulse distortion due to intersymbol interference (ISI), mode partition noise (MPN) and chirping effect at the specific bit error rate (BER), the maximum transceiver dispersion (D_{TR}) specified by the manufacturer, and the total distortion due to composite second order distortion (CSO), at the specified carrier to noise ratio (CNR), specified by the manufacturer, when operated under the conditions described in 4.2. The procedure for measuring dispersion power penalty is contained in IEC 61280-2 and 61280-3.

pénalité de puissance par réflexion (R_p)

La pénalité de puissance par réflexion est une mesure de la puissance supplémentaire requise par un récepteur, lorsque la valeur de la réflexion optique maximale (OR_{max}) spécifiée par le fabricant est introduite sur le côté alimentation du connecteur de l'émetteur, afin d'obtenir les mêmes performances de BER ou CNR que celles obtenues sans réflexion introduite. La procédure de mesure de la retenue de puissance par réflexion figure dans la CEI 61280-2 et la CEI 61280-3.

dispersion maximale de l'émetteur-récepteur (D_{TR})

Dispersion dans le cas le plus défavorable (ps/nm), due à la longueur de la fibre, pouvant être acceptée par un ensemble émetteur-récepteur pour respecter les performances (c'est-à-dire taux binaire et BER ou CNR) spécifiées par le fabricant, lorsqu'il fonctionne dans les conditions décrites en 4.2.

entrée maximale du récepteur (R_{max})

Valeur maximale de la puissance optique d'entrée (dBm) dans le récepteur (sur le côté d'alimentation du connecteur du module récepteur), lorsqu'il fonctionne dans les conditions décrites en 4.2, que le récepteur peut accepter en maintenant le taux d'erreurs binaires spécifié par le fabricant mesuré suivant la procédure figurant dans la CEI 61280-2-2 ou la CEI 61280-3-6.

Il convient de fournir les paramètres du récepteur P_R , P_D , R_p , D_{TR} et R_{max} pour une, au moins, des valeurs BER ou CNR figurant dans les feuilles de programmation des BDS. Etant donné que les prescriptions relatives au BER ou CNR du BFOS dépendent de la longueur, les paramètres devraient couvrir la plupart des applications. De même, les paramètres correspondant à des valeurs BER élevées ou CNR faibles peuvent être utiles pour vérifier les marges du système.

4.6 Dispositifs de branchement

S'il existe un dispositif de branchement, il convient que le fournisseur spécifie le fabricant, le numéro de type, le nombre de ports optiques d'entrée/sortie et la perte:

U_{BD} = valeur, dans le cas le plus défavorable, de la perte totale (dB) associée au dispositif de branchement (aux deux extrémités), y compris l'ensemble des pertes d'insertion (et par réflexion) et les pertes dues aux connecteurs supplémentaires ainsi que d'autres dégradations selon la description de 4.2.

La perte correspond à la longueur d'onde de l'émetteur indiquée dans les feuilles de programmation des BDS. Si nécessaire, il convient d'indiquer dans la BDS les informations concernant la perte d'insertion totale associée à la dépendance de la longueur d'onde.

4.7 Affaiblisseurs

Il convient que les fournisseurs indiquent les informations suivantes:

- perte;
- type de connecteur.

4.8 Dispositifs WDM

S'il existe un dispositif WDM, il convient que les fournisseurs spécifient le fabricant, le numéro de type, le nombre de ports optiques et la perte:

reflection power penalty (R_p)

The reflection power penalty is a measure of the additional power required by a receiver, when the manufacturer specified value of maximum optical reflection (OR_{max}) is introduced at the line side of the transmitter connector, to achieve the same BER or CNR performance that is obtained without the introduced reflection. The procedure for measuring the reflection power penalty is contained in IEC 61280-2 and IEC 61280-3.

maximum transceiver dispersion (D_{TR})

The worst-case dispersion (ps/nm), due to fibre length, that can be accommodated by a transmitter-receiver pair to meet the performance (i.e. bit rate and BER or CNR) specified by the manufacturer, when operated under the conditions described in 4.2.

Maximum receiver input (R_{max})

The maximum value of the input optical power (dBm) to the receiver (on the line side of the receiver module connector), when operated under the conditions described in 4.2, that the receiver will accept and maintain the manufacturer specified bit error ratio as measured utilizing the procedure contained in IEC 61280-2-2 or IEC 61280-3-6.

The receiver parameters P_R , P_D , R_p , D_{TR} and R_{max} should be provided for at least one of the BER or CNR values shown in worksheets in BDSs. Since a BFOS's BER or CNR requirement depends on length, the parameters should cover most applications. Also, the parameters corresponding to high BER or low CNR values may be useful in verifying system margins.

4.6 Branching devices

If a branching device is offered, the supplier should specify the manufacturer, type number, number of optical input/output ports and loss:

U_{BD} = worst-case value of the all-inclusive loss (dB) associated with branching device (at both ends), including all insertion (and return) and additional connector losses as well as other degradations as described in 4.2.

The loss corresponds to the transmitter wavelength stated in worksheets of the BDS. If needed, the information of the all-inclusive insertion loss associated with wavelength dependency should be stated in the BDS.

4.7 Attenuators

Suppliers should provide the following information:

- loss;
- connector type.

4.8 WDM devices

If a WDM device is being offered, suppliers should specify the manufacturer, type number, number of optical ports and loss:

U_{WDM} = valeur, dans le cas le plus défavorable, de la perte totale (dB) associée au matériel de multiplexage de longueurs d'onde (aux deux extrémités), y compris l'ensemble des pertes d'insertion (et par réflexion) et les pertes dues aux connecteurs supplémentaires ainsi que d'autres dégradations selon la description de 4.2.

La perte correspond à longueur d'onde de l'émetteur indiquée dans la BDS. Si nécessaire, il convient d'indiquer les informations concernant la perte d'insertion totale associée à la dépendance de longueur d'onde dans les feuilles de programmation des BDS.

4.9 Amplificateurs optiques

A l'étude.

4.10 Connecteurs

Il convient que les fournisseurs spécifient les informations suivantes concernant les connecteurs:

- type de connecteur (par exemple, ST, SC, etc.);
- fabricant;
- numéro de modèle.

Il convient également que les fournisseurs spécifient:

U_{CON} est la valeur, dans le cas le plus défavorable, de la perte d'insertion du connecteur (dB).

Il convient que le concepteur du système spécifie l'élément suivant:

N_{CON} est le nombre de connecteurs. C'est le nombre recommandé par un concepteur de système pour une section typique point-à-point. Il ne devrait normalement pas inclure les connecteurs de l'unité de transmission ou de réception, car ils sont déjà pris en compte dans P_T et P_R , respectivement. Cependant, pour les dispositifs à fibres amorcées, il convient de compter un connecteur supplémentaire pour chaque dispositif de ce type (émetteur et récepteur).

4.11 Câble de bureau (intérieur)

Le câble de bureau représente le câble à fibres optiques utilisé dans un environnement intérieur pour connecter le câble à fibres optiques de l'installation extérieure à l'équipement terminal du système à fibres optiques. Le câble intérieur est également utilisé dans un environnement intérieur pour effectuer l'interconnexion entre l'équipement terminal. Le câble de bureau peut fournir ce chemin optique par le biais d'une certaine forme de tableau de connexions optiques permettant un réarrangement du chemin optique vers les fibres de l'installation extérieure.

Il convient que les fournisseurs indiquent les informations suivantes:

- fabricant;
- type général de fibre;
- classe de fibre;
- paramètres liés à l'interconnexion:
 - diamètre et tolérance nominaux du champ de mode,
 - diamètre et tolérance nominaux de la gaine,
 - ovalisation maximale de la gaine,
 - erreur de concentricité maximale du cœur/de la gaine.

U_{WDM} = worst-case value of the all-inclusive loss (dB) associated with wavelength-division-multiplexing equipment (at both ends), including all insertion (and return) and additional connector losses as well as other degradations as described in 4.2.

The loss corresponds to the transmitter wavelength stated in the BDS. If needed, the information of the all-inclusive insertion loss associated with wavelength dependency should be stated in worksheets in the BDSs.

4.9 Optical fibre amplifiers

Under consideration.

4.10 Connectors

Suppliers should specify the following connector information:

- connector type (for example, ST, SC, etc.);
- manufacturer;
- model number.

Also, suppliers should specify:

U_{CON} is the worst-case value of connector insertion loss (dB).

The system designer should specify the following:

N_{CON} is the number of connectors. This is the number recommended by a system designer for a typical point-to-point section. This normally should not include the transmitter unit or receiver unit connectors, since they are already accounted for in P_{T} and P_{R} , respectively. However, for pigtailed devices, an additional connector should be counted for each such device (transmitter and receiver).

4.11 Office (indoor) cable

Office cable represents the optical fibre cable that is used within a building environment to connect the outside plant optical fibre cable to the fibre optic system terminal equipment. Indoor cable is also used within a building environment to interconnect between the terminal equipment. The office cable may provide this optical path via some form of optical patch panel that allows optical path rearrangement to the outside plant fibres.

Suppliers should provide the following information:

- manufacturer;
- general fibre type;
- class of fibre;
- interconnection related parameters:
 - nominal mode field diameter and tolerance,
 - nominal cladding diameter and tolerance,
 - maximum cladding ovality,
 - maximum core/cladding concentricity error.

Les paramètres liés à l'interconnexion sont nécessaires pour calculer les pertes de connexion des épissures et des connecteurs installés en exploitation.

Il convient également que les fournisseurs spécifient les paramètres de transmission suivants:

- U_{SM} est la perte, dans le cas le plus défavorable, à la fin de la durée de vie (dB/km) du câble de bureau;
- λ_{CC} est la longueur d'onde de coupure de câble. La longueur d'onde de coupure du câble de bureau doit être inférieure à la valeur minimale de la longueur d'onde centrale de l'émetteur.

Il convient que le concepteur du système spécifie l'élément suivant:

- l_{SM} est la longueur totale en kilomètres, sur les deux extrémités d'une section, d'un câble de bureau ou d'un câble de liaison.

4.12 Installation de câbles entre bâtiments et câbles extérieurs

Le présent paragraphe expose les paramètres de transmission par câble à spécifier. Ils sont résumés dans la BDS.

Il convient que l'utilisateur du système spécifie les éléments suivants.

- type d'application (aérien, enterré, souterrain);
- conditions d'environnement;
- la longueur d'onde centrale nominale ($l_{t \text{ nom}}$) et la gamme de longueurs d'onde centrales ($l_{t \text{ min}}$ à $l_{t \text{ max}}$) correspondant à l'équipement terminal à utiliser;
- le type d'épissure, le cas échéant;
- informations concernant la perte d'épissure:
 U_S est la perte maximale de l'épissure (dB/épissure) dans les conditions décrites en 4.2.
- informations concernant la perte de connecteurs d'installations de câbles:
 U_{CON} est la perte maximale du connecteur (dB/connecteur) dans les conditions décrites en 4.2.

Le fournisseur doit spécifier les informations suivantes:

- désignation du câble;
- longueur d'onde maximale de coupure de câble $\lambda_{CC \text{ max}}$ (nm), dans les conditions de déploiement de câble indiquées dans les figures 1 à 5.

En général, la valeur la plus élevée de la longueur d'onde de coupure de fibre câblée respecte la relation suivante:

$$\lambda_{CC \text{ max}} < \lambda_{t \text{ min}}$$

où $\lambda_{t \text{ min}}$ est défini en 4.4.2.

Paramètres de perte dans le câble

U_C est la perte dans le câble, dans le cas le plus défavorable, à la fin de la durée de vie (dB/km) pour la longueur d'onde centrale nominale de l'émetteur $\lambda_{t \text{ nom}}$. Cela inclut la perte par épissure provoquée par le processus de fabrication de la fibre ou du câble, selon la description de 4.2.

$U_{\Delta\lambda}$ est l'augmentation maximale de la perte dans les câbles (dB/km) au-delà de U_C survenant sur la gamme de longueurs d'onde centrales de l'émetteur ($\lambda_{t \text{ min}}$ à $\lambda_{t \text{ max}}$).

The interconnection related parameters are needed to calculate the connection losses of field installed splices and connectors.

Also, suppliers should specify the following transmission parameters:

- U_{SM} is the worst-case end of life loss (dB/km) of office cable;
- λ_{CC} is the cable cutoff wavelength. The cutoff wavelength of the fibre office cable shall be below the minimum value of the transmitter central wavelength.

The system designer should specify the following:

- l_{SM} is the total length in kilometres, on both ends of a section, of office or jumper cable.

4.12 Interbuilding and outside cable plant

This subclause discusses the cable transmission parameters which are to be specified. They are summarized in the BDS.

The system user should specify the following:

- type of application (aerial, buried, underground);
- environmental conditions;
- the nominal central wavelength ($\lambda_{t\text{ nom}}$) and central wavelength range ($\lambda_{t\text{ min}}$ to $\lambda_{t\text{ max}}$) corresponding to the terminal equipment to be used;
- the type of splice, if appropriate;
- splice loss information:
 U_S is the maximum splice loss (dB/splice) under the conditions described in 4.2.
- cable plant connector loss information:
 U_{CON} is the maximum connector loss (dB/connector) under the conditions described in 4.2.

The supplier shall specify the following information:

- designation of the cable;
- maximum cable cutoff wavelength $\lambda_{CC\text{ max}}$ (nm), with cable deployment conditions as shown in figures 1 to 5.

In general, the highest value of cabled fibre cutoff wavelength satisfies:

$$\lambda_{CC\text{ max}} < \lambda_{t\text{ min}}$$

where $\lambda_{t\text{ min}}$ is defined in 4.4.2.

Cable loss parameters

U_C is the worst-case end of life cable loss (dB/km) at the transmitter's nominal central wavelength $\lambda_{t\text{ nom}}$. This includes splicing loss caused by the fibre or cable manufacturing process, as described in 4.2.

$U_{\Delta\lambda}$ is the largest increase in cable loss (dB/km) above U_C which occurs over the transmitter's central wavelength range ($\lambda_{t\text{ min}}$ to $\lambda_{t\text{ max}}$).

Paramètres de dispersion

$\lambda_{0 \min}, \lambda_{0 \max}$ = gamme de variation de longueurs d'onde de dispersion nulle.

$S_{0 \max}$ = valeur maximale de la pente à dispersion nulle (pente de dispersion (ps/(nm·km)) à la longueur d'onde de dispersion nulle).

Les limites extrêmes $D_1(\lambda)$ et $D_2(\lambda)$ du coefficient de dispersion chromatique de la fibre (ps/(nm·km)) sont indiquées comme suit:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{0 \max}}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_{0 \min}^4}{\lambda^3} \right) \quad (a)$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{0 \max}}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_{0 \max}^4}{\lambda^3} \right) \quad (b)$$

(1)

4.13 Marge de fonctionnement et marge de vieillissement

M est la marge de fonctionnement dB, pour les pertes non prévues, à déterminer par le concepteur du système pour une application spécifique.

NOTE M ne doit pas inclure les pénalités correspondant aux pertes et dégradations prévues (par exemple, vieillissement du laser, vieillissement du câble, réflexions, réparations). Ces effets sont déjà inclus dans les paramètres de transmission appropriés, selon les définitions du présent rapport technique (voir 4.2).

Une procédure d'essai peut être nécessaire pour déterminer la contribution due aux effets du vieillissement dans la spécification de fin de durée de vie des systèmes de ligne de transmission de base à fibres optiques. Pour les systèmes SDH, la marge de vieillissement est déterminée par la méthode S/X permettant d'évaluer la dégradation de la sensibilité du récepteur et l'ouverture de l'œil (voir UIT-T G.957).

5 Conception et analyse de transmission d'un système à fibres optiques

Le présent article décrit un ensemble de méthodes de réalisation d'un système de transmission à fibres optiques unimodales. Les méthodes décrivent la conception d'un BFOS et sont destinées à assurer que tous les trajets de fibres installés, respectant les spécifications de câbles, sont utilisables aux taux de transmission proposés. Un BFOS, défini dans les figures 1 à 5, est composé de 1) émetteurs-récepteurs, connecteurs, interconnexion de câble de bureau et de fibres pour chaque bureau/installation et 2) sections d'installations de câbles à fibres, jointes par des épissures, entre des bureaux ou un bureau et les locaux du client, y compris des terminaux à distance. L'interconnexion de fibre est l'interface entre l'équipement terminal et la fibre, et fournit un accès de connecteur à chaque fibre dans le câble dans un but de maintenance et de réparation.

Le présent article décrit la manière d'utiliser les paramètres de transmission de l'article 4 dans le cadre de la conception et de l'analyse des BFOS. Les calculs sont basés sur deux relations de contrainte, l'une sur le budget de pertes du système et l'autre sur la tolérance de dispersion. Les paramètres étudiés dans le présent article doivent représenter les valeurs dans le cas le plus favorable. Les paramètres statistiques sont traités dans l'annexe A.

Dispersion parameters

$\lambda_{0 \min}, \lambda_{0 \max}$ = zero-dispersion wavelength range of variation.

$S_{0 \max}$ = maximum value of the zero-dispersion slope (the dispersion slope (ps/(nm·km)) at the zero-dispersion wavelength).

The extreme limits $D_1(\lambda)$ and $D_2(\lambda)$ of the fibre's chromatic dispersion coefficient (ps/(nm·km)) are given as:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{0 \max}}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_{0 \min}^4}{\lambda^3} \right) \quad (a)$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{0 \max}}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_{0 \max}^4}{\lambda^3} \right) \quad (b)$$
(1)

4.13 Working margin and ageing margin

M is the working margin dB, for unexpected losses, to be determined by the system designer for a specific application.

NOTE M must not include penalties for expected losses and degradations (for example laser ageing, cable ageing, reflections, repairs). These effects are already included in the appropriate transmission parameters, according to the definitions of this technical report (see 4.2).

A test procedure may be required for determining the contribution due to ageing effects in the end-of-life specification of fibre optic basic transmission line systems. For SDH systems, ageing margin is determined by the S/X method to evaluate a degradation of receiver sensitivity and eye opening (see ITU-T G.957).

5 Fibre optic system transmission design analysis

This clause describes a methodology for engineering a single-mode fibre optic transmission system. The methods address the design of a BFOS and are intended to ensure that all installed fibre paths which meet cable specifications will be usable at proposed transmission rates. A BFOS, defined in figures 1 to 5, is composed of 1) transceivers, connectors, office cable and fibre interconnection at each office/facility and 2) fibre cable plant sections, joined by splices, between offices or office and customer premises, including remote terminals. The fibre interconnection is the interface between the termination equipment and the fibre, and provides connector access to each fibre in the cable for maintenance and restoration purposes.

This clause describes how the transmission parameters of clause 4 are to be used in the design and analysis of BFOSs. The computations are based on two constraint relations, one on the system's loss budget and the other on dispersion tolerance. The parameters discussed in this clause are to be given as worst-case values. Statistical parameters are treated in annex A.

5.1 Systèmes à fibres optiques limités par la perte

La figure 4 présente un modèle de transmission au sein d'un BFOS, comprenant la puissance de l'émetteur, la sensibilité du récepteur et de différentes sources de perte. Il est pratique de diviser le trajet de transmission au niveau du répartiteur de fibres dans l'installation terminale et l'installation de câbles à fibre épissurée. Le gain du système G des installations terminales peut alors être déterminé, et la perte L introduite par l'installation de câbles à fibre entre les installations peut être déterminée. Si L est inférieur ou égal à G , les objectifs de transmission formulés peuvent être réalisés. Un affaiblisseur peut être nécessaire si L est nettement inférieur à G .

Dans les équations suivantes, les paramètres intervenant dans G et L sont spécifiés par leurs valeurs dans le cas le plus défavorable. Le calcul de G et L par l'intermédiaire d'une approche statistique est traité dans l'annexe A.

L'équation relative au gain du système au niveau des installations est la suivante:

$$G = P_T - P_R - P_D - R_P - M - U_{WDM} - I_{SM} U_{SM} - N_{CON} U_{CON} \quad (2)$$

dont tous les termes sont définis dans l'article 4.

L'équation relative à la perte de l'installation de câbles à fibre est la suivante:

$$L = l_t (U_C + U_\lambda) + N_S U_S \quad (3)$$

où

l_t est la longueur totale de conception de la gaine extérieure du câble à fibre épissurée, en kilomètres, égale au câble à fibre épissurée installé, plus toute marge de câble à fibre supplémentaire intégrée en perspective d'éventuelles réparations et/ou déroutements;

N_S est le nombre total d'épissures dans le câble à fibre de longueur l_t , y compris celles au niveau de l'interconnexion de câbles aux deux extrémités, plus toute marge pour raccords supplémentaires en vue de la réparation du câble.

Les termes restants sont définis en 4.12.

Si plusieurs techniques d'épissage sont utilisées pour l'installation ou proposées pour permettre des marges de raccordement pour les réparations, la perte doit être calculée pour chacune d'entre elles.

L'analyse de transmission et les calculs de conception utilisant G et L sont étudiés en 5.3.

A titre d'exemple d'utilisation des équations de gain et de perte du système, voici l'équation relative au gain du système de l'équipement terminal de la figure 1:

$$G = P_T - P_R - M - I_t U_{SM} \quad (4)$$

Dans cet exemple, il n'existe aucune installation de câbles extérieure, par conséquent:

$$L = 0 \quad (5)$$

Autre exemple représentant le gain du système des installations terminales de la figure 5:

$$G = P_T - P_R - P_D - R_P - M - U_{BD} - U_{WDM} - I_{SM} U_{SM} - N_{CON} U_{CON} \quad (6)$$

L'équation représentant la perte de l'installation de câbles à fibre est la suivante:

$$L = l_t (U_C + U_\lambda) + N_S U_S + N_{CON} U_{CON} \quad (7)$$

5.1 Loss limited fibre optic systems

Figure 4 shows a model for transmission in a BFOS including transmitter power, receiver sensitivity and various sources of loss. It is convenient to divide the transmission path at the fibre distributing frame into terminal facility and spliced fibre cable plant. The system gain G of the terminal facilities can then be determined and the loss L introduced by the fibre cable plant between facilities can be determined. If L is less than or equal to G , then the embodied transmission objectives can be attained. An attenuator may be needed if L is much smaller than G .

In the equations which follow, the parameters which enter into G and L are specified by their worst-case values. Calculation of G and L via a statistical approach is covered in annex A.

The equation for the system gain of the facilities is:

$$G = P_T - P_R - P_D - R_P - M - U_{WDM} - I_{SM} U_{SM} - N_{CON} U_{CON} \quad (2)$$

where all terms are as defined in clause 4.

The equation for the loss of the fibre cable plant is:

$$L = l_t (U_C + U_\lambda) + N_S U_S \quad (3)$$

where

l_t is the total engineered sheath length of spliced fibre cable in kilometres, which is equal to the installed spliced fibre cable plus any additional fibre cable allowances included for repair and/or reroute purposes;

N_S is the total engineered number of splices in fibre cable of length l_t , including those at the cable interconnect at both ends, plus any allowance for additional splices for cable repair purposes.

The remaining terms are as defined in 4.12.

If more than one splicing technique is used for installation or proposed for repair splice allowances, the loss shall be computed for each.

Transmission analysis and design calculations using G and L are discussed in 5.3.

As an example of the use of the system gain and loss equations, the equation for the system gain of the terminal equipment in figure 1 is:

$$G = P_T - P_R - M - I_t U_{SM} \quad (4)$$

In this example, there is no outside cable plant, therefore:

$$L = 0 \quad (5)$$

Another example for the system gain of terminal facilities in figure 5 is:

$$G = P_T - P_R - P_D - R_P - M - U_{BD} - U_{WDM} - I_{SM} U_{SM} - N_{CON} U_{CON} \quad (6)$$

The equation for the loss of the fibre cable plant is:

$$L = l_t (U_C + U_\lambda) + N_S U_S + N_{CON} U_{CON} \quad (7)$$

5.2 Systèmes à fibres optiques limités par dispersion

5.2.1 Systèmes numériques

Un BFOS n'est pas limité par la dispersion tant que la relation suivante s'applique:

$$D(\lambda_t) \cdot l_t \leq D_{TR} \quad (8)$$

où

$D(\lambda_t)$ est le coefficient de dispersion chromatique de fibre (ps/(nm·km)) évalué à λ_t ;

λ_t est la longueur de fibre, en km;

D_{TR} est la dispersion maximale de l'émetteur-récepteur (ps/nm) selon la définition de 4.5.2.

En tenant compte de la variation du coefficient de dispersion chromatique de fibre sur la gamme de longueurs d'onde centrales de l'émetteur, la longueur limitée par la dispersion est donnée par:

$$l_D = D_{TR}/D_{\max} \quad (9)$$

où

$D_{\max}$ est la valeur absolue du coefficient de dispersion chromatique dans le cas le plus défavorable, définie par l'équation (1) en ps/(nm·km) sur la gamme spécifiée de longueur d'onde centrale de l'émetteur et pour la variation spécifiée de dispersion du type de câble. Ce point est étudié en détail dans l'annexe B;

l_D est la longueur limitée par la dispersion.

NOTE L'effet de dispersion est pris en compte dans l'équation de G (voir 5.1) par le biais de la diminution de puissance par dispersion P_D en décibels.

5.2.2 Systèmes analogiques

En général, dans le cas de systèmes unimodaux analogiques utilisant des diodes laser unimodales longitudinaux à faible distorsion, par exemples des lasers DFB, il est prévu qu'une longueur BFOS sera limitée par la perte selon les indications de la figure 6, car le CNR spécifié nécessite une forte puissance d'entrée du récepteur P_R et une forte puissance de sortie de l'émetteur P_T . Dans le cas du système de distribution vidéo multicanaux AM-VSB, cependant, la longueur peut être limitée par la dispersion due à la dispersion chromatique et la dégradation CSO résultante dépendant de la longueur de transmission. En tenant compte de ces éléments, on obtient, par des mesures, la longueur l_D limitée par la dispersion, pour laquelle CSO atteint la valeur spécifiée dans les BDS.

5.2 Dispersion-limited fibre optic systems

5.2.1 Digital systems

A BFOS will not be limited by dispersion as long as the following holds:

$$D(\lambda_t) \cdot l_t \leq D_{TR} \quad (8)$$

where

$D(\lambda_t)$ is the fibre chromatic dispersion coefficient (ps/(nm·km)) evaluated at λ_t ;

λ_t is the fibre length, in km;

D_{TR} is the maximum transceiver dispersion (ps/nm) as defined in 4.5.2.

Taking into account the variation in the fibre chromatic dispersion coefficient over the transmitter's central wavelength range, the dispersion limited length is given by:

$$l_D = D_{TR}/D_{max} \quad (9)$$

where

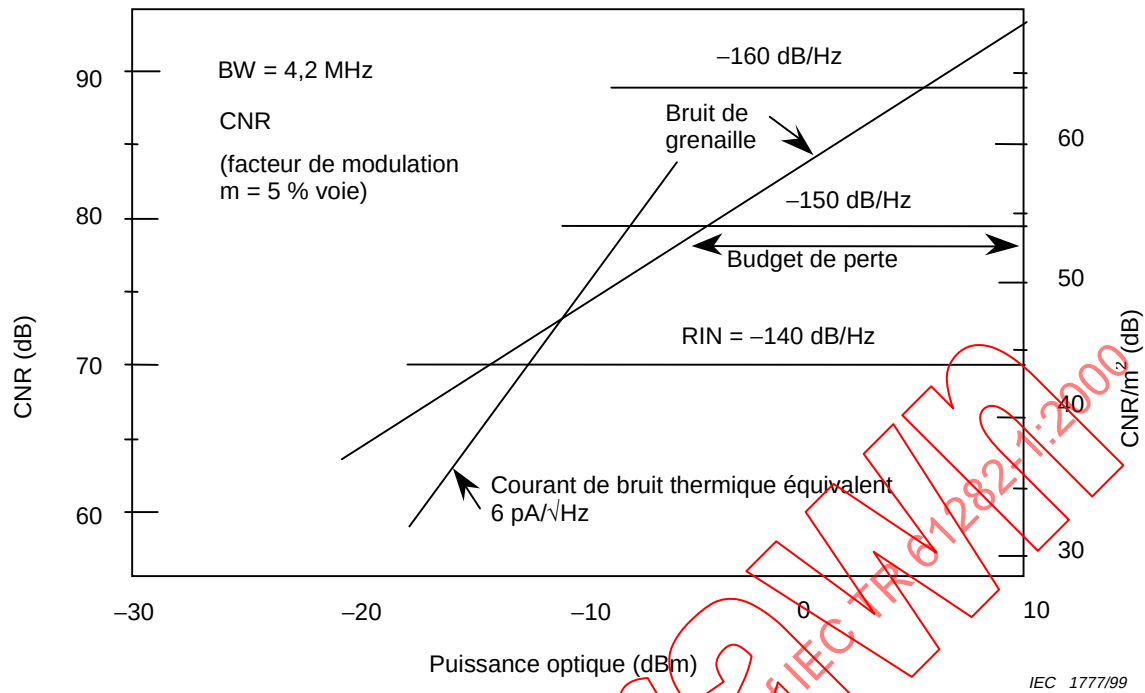
D_{max} is the absolute value of the worst-case of chromatic dispersion coefficient defined in equation (1) in ps/(nm·km) over the specified range of the transmitter central wavelength and over the specified variation in the cable type's dispersion. This is discussed in detail in annex B;

l_D is the dispersion limited length.

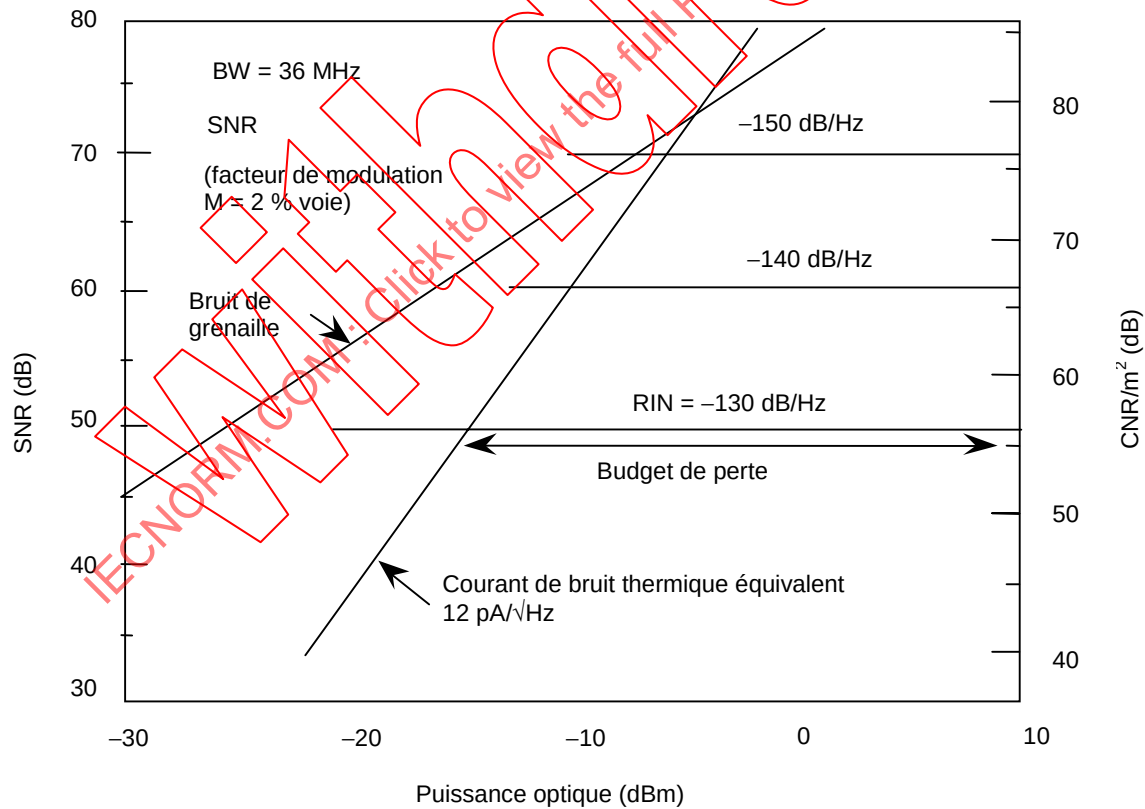
NOTE The effect of dispersion is accounted for in the equation for G (see 5.1) via dispersion power penalty (P_D) in decibels.

5.2.2 Analogue systems

In general, for analogue single-mode systems using low distortion single longitudinal mode laser diodes, for example, DFB-lasers, a BFOS length is expected to be limited by loss as shown in figure 6, because the specified CNR requires a high input receiver power P_R and high output transmitter power P_T . For the AM-VSB multi-channel video distribution system, however, the length may be limited by dispersion which arises from the chromatic dispersion and the resulting CSO degradation dependency on transmission length. Taking this into account, the dispersion limited length l_D , at which CSO reaches the specified value in BDSSs, is obtained by measurements.

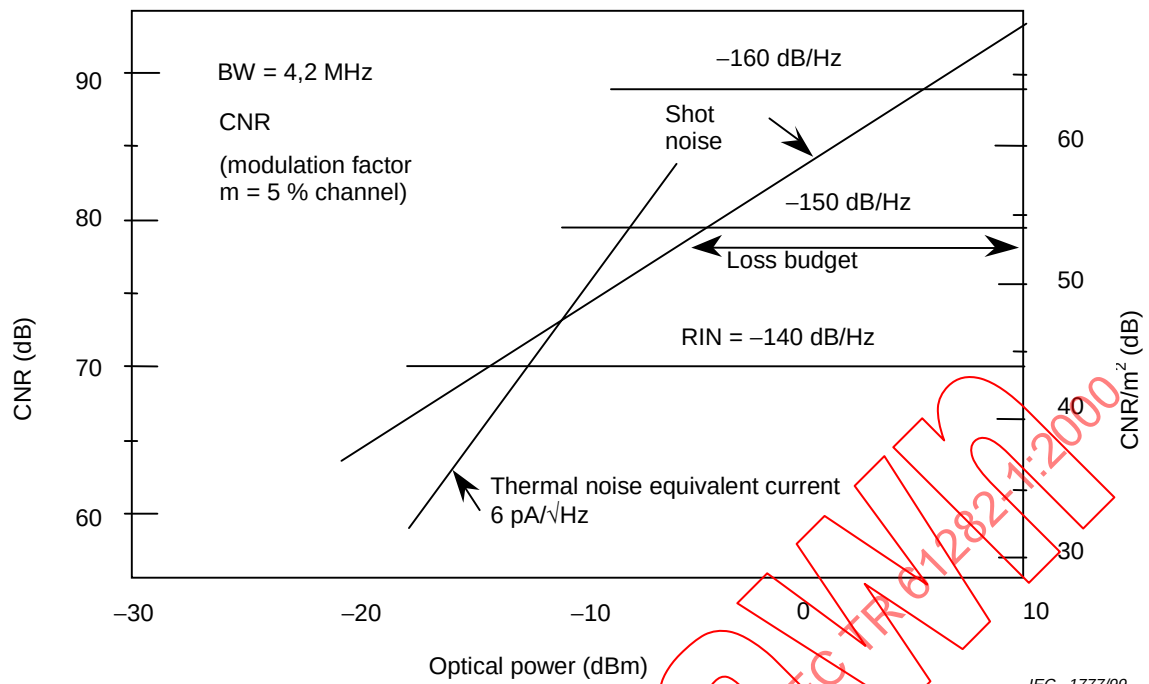


a) CNR pour AM-VSB BFOS

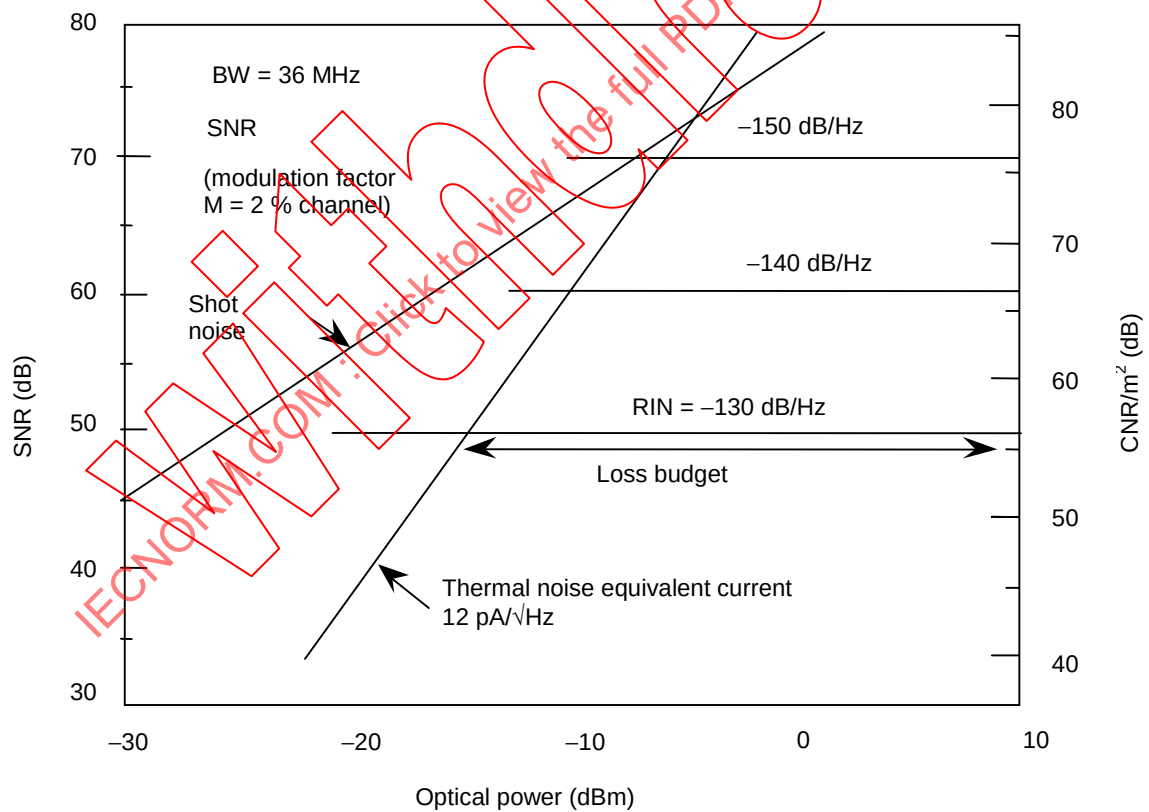


b) SNR pour FM-FDM BFOS

Figure 6 – Caractéristiques de transmission d'un système de transmission analogique à fibres optiques



a) CNR for AM-VSB BFOS



b) SNR for FM-FDM BFOS

Figure 6 – Transmission characteristics for fibre optic analogue transmission system

5.3 Algorithmes de calcul de conception et d'analyse

Les méthodes de conception et d'analyse de transmission pour les systèmes à fibres optiques se concentrent sur le BFOS individuel incluant le système global. Les calculs de conception et d'analyse sont effectués en utilisant des combinaisons de paramètres d'équipement terminal et de câble.

5.3.1 Systèmes numériques

L'algorithme de conception pour les systèmes numériques présente un acheminement de système à fibre optique proposé selon des distances données entre des installations terminales. Pour chaque BFOS, il faut déterminer si une combinaison particulière d'équipement terminal et de câble peut fonctionner (pour le BER spécifié) sans dépasser les limites de perte ou de dispersion. Les étapes impliquées dans un algorithme de conception de système numérique, pour une longueur de section fixe, sont les suivantes:

- a) pour une longueur de section donnée l_t , déterminer la prescription relative au BER;
- b) à partir des BDS, sélectionner les paramètres du récepteur (P_R , P_D , D_{TR}) correspondant à la valeur de BER la plus élevée, ne dépassant pas la prescription de BER de l'étape a);
- c) calculer G et L (voir 5.1). Si $G - L \geq 0$, le BFOS n'est alors pas limité par la perte;
- d) calculer $D_{\max} \cdot l_t$ dont les termes sont définis en 5.2. Si cette grandeur est $\leq D_{TR}$, le BFOS n'est alors pas limité par la dispersion.

Si les calculs des deux étapes c) et d) sont satisfaisants, la combinaison équipement terminal-câble est acceptable.

Le second algorithme d'analyse permet de calculer les longueurs maximales de section lorsque la longueur du BFOS n'est pas soumise à une contrainte de perte ou de dispersion. Ces calculs peuvent être utilisés pour comparer différentes combinaisons d'équipement terminal et de câble. On suggère de calculer les longueurs maximales en fonction de la distance entre les épissures. Les étapes intervenant dans l'algorithme d'analyse sont les suivantes:

- a) sélectionner un ensemble de paramètres de récepteur (P_R , P_D , D_{TR}) correspondant à une valeur de BER à partir de BDS;
- b) calculer la longueur pour laquelle $G = L$;
- c) calculer la longueur limitée par la dispersion pour laquelle le D_{TR} est atteint, c'est-à-dire, $l_D = D_{TR} / D_{\max}$;
- d) prendre pour longueur de section maximale la plus petite des deux longueurs calculées dans les étapes b) et c);
- e) vérifier que le BER de l'étape a) est inférieur à la prescription du BER, sur la base de la longueur calculée à l'étape d). Si ce n'est pas le cas, sélectionner les paramètres du récepteur dans les BDS correspondant au BER suivant le plus réduit, et renouveler le processus. Si la prescription BER est supérieure de dix fois ou plus au BER de l'étape a), renouveler le calcul avec les paramètres du récepteur correspondant à la valeur BER suivante la plus grande dans les BDS.

5.3.2 Systèmes analogiques

L'algorithme de conception pour les systèmes analogiques présente un acheminement du système à fibres optiques proposé selon des distances données entre les installations terminales. Pour chaque section, il faut déterminer si une combinaison particulière d'équipement terminal et de câble peut fonctionner (pour le CNR et la performance de distorsion spécifiés) sans dépasser les limites de perte ou de dispersion. Les étapes impliquées dans l'algorithme de conception de système analogique sont les suivantes:

5.3 Design and analysis computational algorithms

The transmission design and analysis methodology for fibre optic systems focuses on the individual BFOS comprising the overall system. The design and analysis calculations are performed using specific combinations of terminal equipment and cable parameters.

5.3.1 Digital systems

The design algorithm for digital systems deals with a proposed fibre optic system route with given distances between terminal facilities. For each BFOS one must determine whether a particular combination of terminal equipment and cable can work together (at the specified BER) without exceeding any loss or dispersion limitation. The steps involved in digital system design algorithm for a fixed section length are:

- a) for a given section length l_t , determine the BER requirement;
- b) from BDSs select the receiver parameters (P_R , P_D , D_{TR}) corresponding to the largest BER value which does not exceed the BER requirement of step a);
- c) calculate G and L (see 5.1). If $G - L \geq 0$, then the BFOS is not limited by loss;
- d) calculate $D_{\max} \cdot l_t$ where the terms are defined in 5.2. If this quantity is $\leq D_{TR}$, then the BFOS is not limited by dispersion.

If the calculations from both steps c) and d) are satisfactory, the terminal equipment-cable combination is acceptable.

The second analysis algorithm deals with calculating maximum section lengths when the BFOS length is not constrained by loss or dispersion. Such calculations may be used in comparing various combinations of terminal equipment and cable. It is suggested that the maximum lengths be calculated as a function of the distance between splices. The steps involved in the analysis algorithm are:

- a) select a set of receiver parameters (P_R , P_D , D_{TR}) corresponding to a BER value from BDSs;
- b) calculate the length at which $G = L$;
- c) calculate the dispersion limited length at which D_{TR} is achieved, namely, $l_D = D_{TR}/D_{\max}$;
- d) take the maximum section length to be the smaller of the two lengths calculated in steps b) and c);
- e) check to see that the BER of step a) is smaller than the BER requirement based on the length calculated in step d). If not, then select the receiver parameters in BDSs corresponding to the next smaller BER and repeat the process. If the BER requirement is ten or more times greater than the BER of step a), repeat the calculation with receiver parameters corresponding to the next larger value of BER in BDSs.

5.3.2 Analogue systems

The design algorithm for analogue systems deals with a proposed fibre optic system route with given distances between terminal facilities. For each section one must determine whether a particular combination of terminal equipment and cable can work together (at the specified CNR and distortion performance) without exceeding any loss or dispersion limitation. The steps involved in the analogue system design algorithm are:

- pour une longueur de section donnée (l), déterminer les prescriptions de CNR, CSO et CTB (les performances du système analogique de base);
- à partir des BDS, sélectionner les paramètres de récepteur (P_R , P_D , D_{TR}) correspondant à la valeur CNR la plus élevée, ne dépassant pas les prescriptions CNR, CSO et CTB de l'étape a);
- calculer G et L (voir 5.1). Si $G - L \geq 0$, le BFOS n'est pas limité par la perte;
- calculer $D_{\max} \cdot l$ où les termes sont définis en 5.2. Si cette grandeur est $\leq D_{TR}$, le BFOS n'est pas limité par la dispersion.

Si les calculs des deux étapes c) et d) sont satisfaisants, la combinaison équipement terminal-câble est acceptable.

Le second algorithme d'analyse permet de calculer les longueurs maximales de section lorsque la longueur du BFOS n'est pas soumise à une contrainte de perte ou de dispersion. Ces calculs peuvent être utilisés pour comparer de différentes combinaisons d'équipement terminal et de câble. On suggère de calculer les longueurs maximales en fonction de la distance entre les raccords. Les étapes intervenant dans l'algorithme d'analyse sont les suivantes:

- sélectionner un ensemble de paramètres de récepteur (P_R , P_D , D_{TR}) correspondant aux caractéristiques analogiques de base à partir des BDS;
- calculer la longueur pour laquelle $G = L$;
- calculer la longueur limitée par la dispersion pour laquelle on atteint D_{TR} , c'est-à-dire, $l_D = D_{TR}/D_{\max}$;
- prendre pour longueur de section maximale la plus petite des deux longueurs calculées dans les étapes b) et c);
- vérifier que le CNR de l'étape a) est supérieur à la prescription du CNR, sur la base de la longueur calculée à l'étape d). Si ce n'est pas le cas, sélectionner les paramètres du récepteur dans les BDS correspondant au CNR suivant le plus élevé et renouveler le processus. Si la prescription CNR est inférieure de dix fois ou plus au CNR de l'étape a), renouveler le calcul avec les paramètres du récepteur correspondant à la valeur CNR suivante la plus réduite dans les BDS.

5.3.3 Systèmes de transmission (SCM) par multiplexage de sous-porteur

Conversion du CNR en SNR pour multicanaux AM- et FM-SCM

$$CNR = 10 \log \left[\frac{(I_p M)^2 (m^2 / 2)}{[2eM^{2+X}(I_p + I_{dm}) + 2eI_{do} + i_{th}^2 + RIN(I_p M)^2] \cdot BW} \right]$$

où

- I_p est le photo-courant [$I_p = (\eta e / h\nu) P_o$];
- η est le rendement quantique des photo-détecteurs (diodes APD ou PIN);
- e est le charge de l'électron;
- h est le constante de Boltzmann;
- ν est la fréquence de la lumière;
- P_o est la puissance optique de réception (dBm);
- M est le facteur de multiplication de l'APD;
- X est le facteur de bruit en excès de l'APD;
- I_{dm} est le courant d'obscurité dépendant du M de multiplication de l'APD;
- I_{do} est le courant d'obscurité indépendant du M de multiplication de l'APD;

- for a given section length (l_t), determine the CNR, CSO and CTB requirements (the basic analogue system performance);
- from BDSs select the receiver parameters (P_R , P_D , D_{TR}) corresponding to the largest CNR value which does not exceed the CNR, CSO and CTB requirements of step a);
- calculate G and L (see 5.1). If $G - L \geq 0$, then the BFOS is not limited by loss;
- calculate $D_{\max} \cdot l_t$ where the terms are defined in 5.2. If this quantity is $\leq D_{TR}$, then the BFOS is not limited by dispersion.

If the calculations from both steps c) and d) are satisfactory, the terminal equipment-cable combination is acceptable.

The second analysis algorithm deals with calculating maximum section lengths when the BFOS length is not constrained by loss or dispersion. Such calculations may be used in comparing various combinations of terminal equipment and cable. It is suggested that the maximum lengths be calculated as the distance between splices is varied. The steps involved in the analysis algorithm are:

- select a set of receiver parameters (P_R , P_D , D_{TR}) corresponding to the basic analogue characteristics from BDSs;
- calculate the length at which $G = L$;
- calculate the dispersion limited length at which D_{TR} is achieved, namely, $l_D = D_{TR}/D_{\max}$;
- take the maximum section length to be the smaller of the two lengths calculated in steps b) and c);
- check to see that the CNR of step a) is larger than the CNR requirement based on the length calculated in step d). If not, then select the receiver parameters in BDSs corresponding to the next larger CNR and repeat the process. If the CNR requirement is ten or more times less than the CNR of step a), repeat the calculation with receiver parameters corresponding to the next smaller value of CNR performance in BDSs.

5.3.3 Subcarrier multiplexing (SCM) transmission systems

CNR to SNR conversion for AM- and FM-SCM multi-channel

$$CNR = 10 \log \left[\frac{(I_p M)^2 (m^2 / 2)}{\left[2eM^{2+X}(I_p + I_{dm}) + 2eI_{do} + i_{th}^2 + RIN(I_p M)^2 \right] \cdot BW} \right]$$

where

- I_p is the photo-current [$I_p = (\eta e / h\nu) P_0$];
- η is the quantum efficiency of photo-detectors (APD or PIN diodes);
- e is the charge of electron;
- h is the Boltzmann constant;
- ν is the frequency of light;
- P_0 is the receiving optical power (dBm);
- M is the multiplication factor of APD;
- X is the excess noise factor of APD;
- I_{dm} is the dark current dependent of multiplication M of APD;
- I_{do} is the dark current independent of multiplication M of APD;

i_{th} est le courant de bruit équivalent dans la partie entrée;

RIN est le bruit d'intensité relative des diodes laser;

BW est la largeur de bande du récepteur;

m est le facteur/indice de modulation.

$$(SNR \text{ pondéré})_{AM} = (CNR)_{AM} - 0,3 \text{ [dB]}$$

$$(SNR \text{ pondéré})_{FM} = (CNR)_{FM} - 10 \log \left\langle \frac{1,53 \cdot \Delta F^2}{f_v^3} \right\rangle + 14,3 \text{ [dB]}$$

où $SNR = 0,7 \text{ VP} - P/Nr.m.s.$

Dans le cas de satellite CATV, $DF = 17 \text{ MHz}$, $BW = 27 \text{ MHz}$, $f_v = 4,2 \text{ MHz}$

où

DF est l'écart de fréquence maximal (valeur crête à crête, comprenant les signaux synchrones);

f_v est la largeur de bande d'un signal vidéo;

donc,

$$(SNR \text{ pondéré})_{FM} = (CNR)_{FM} - 7,8 \text{ [dB]}$$

i_{th} is the equivalent noise current at front-end;
 RIN is the relative intensity noise of laser diodes;
 BW is the receiver bandwidth;
 m is the modulation factor/index.

$$(Weighted\ SNR)_{AM} = (CNR)_{AM} - 0,3\ [dB]$$

$$(weighted\ SNR)_{FM} = (CNR)_{FM} - 10 \log \left\langle \frac{1,53 \cdot \Delta F^2}{f_v^3} \right\rangle + 14,3\ [dB]$$

where $SNR = 0,7\ VP - PIN$ r.m.s.

In case of satellite CATV, $DF = 17\ MHz$, $BW = 27\ MHz$, $f_v = 4,2\ MHz$

where

DF is the maximum frequency deviation (peak-to-peak value, including synchronous signals);

f_v is the video signal bandwidth;

therefore,

$$(Weighted\ SNR)_{FM} = (CNR)_{FM} - 7,8\ [dB]$$

Annexe A

Conception statistique du système (approche statistique des gains et pertes)

A.1 Introduction

Cette annexe présente un traitement statistique du gain de système G et de la perte L d'installation de câbles. Cette méthode statistique est une méthode différente de l'approche dans le cas le plus défavorable, présentée dans les articles 4 et 5. Certains utilisateurs peuvent demander des paramètres statistiques relatifs à l'équipement terminal et au câble à fibre optique, et des calculs statistiques au lieu (ou en plus) de leurs équivalents les plus défavorables.

Les valeurs statistiques des paramètres intégrés dans les équations G et L sont exprimées en termes de valeurs moyennes et d'écart-types (il convient que la taille de l'échantillon soit égale à 20 ou plus). Cependant, si les valeurs statistiques d'un paramètre particulier ne sont pas connues, il faut utiliser sa valeur la plus défavorable (selon la définition de l'article 4). Pour remplacer par une valeur de cas le plus défavorable (dans les équations G et L) des valeurs statistiques, on utilise la valeur de cas le plus défavorable à la place de la valeur moyenne et l'écart-type est fixé à zéro. Les spécifications particulières cadres sont utilisées pour collecter les paramètres statistiques relatifs à l'équipement terminal dans des conditions normalisées, ainsi que les paramètres de transmission par câble, normalement fournis par le fournisseur et le concepteur du système.

Pour les besoins de la conception et de l'analyse du système de base à fibres optiques, l'approche statistique peut suivre la procédure de 5.3 si chaque expression ($G - L$) est remplacée par $(\mu_{G-L} - 2\sigma_{G-L})$. Les effets de la tolérance de dispersion sont calculés selon 5.2 et 5.3.

A.2 Gain du système et perte dans le câble

A.2.1 Gain du système

Les équations portant sur l'écart moyen et l'écart-type du gain de système du BFOS sont les suivantes:

$$\mu_G = P_T - P_R - P_D - R_P - M - \mu_{WDM} - I_{SM} \mu_{SM} - N_{CON} \mu_{CON}$$

et

$$\sigma_G = [\sigma_{PT}^2 + \sigma_{PR}^2 + \sigma_{WDM}^2 + \sigma_{PD}^2 + N_{CON} \sigma_{CON}^2]^{1/2}$$

où

P_T, σ_{PT} sont l'écart moyen et l'écart-type de la puissance de l'émetteur (dBm) dans le câble unimodal (sur le côté alimentation du connecteur de l'unité d'émission), correspondant à la description de 4.2, et mesurés en appliquant la procédure contenue dans la CEI 61280-1-1. La puissance de l'émetteur peut être contrôlée dans les limites spécifiées tout au long de sa durée de vie. La marge est prise en compte dans les écarts-types;

P_R, σ_{PR} sont l'écart moyen et l'écart-type de sensibilité du récepteur, de la puissance optique d'entrée (dBm) vers le récepteur sur le côté alimentation du connecteur du module récepteur, selon la description de 4.2, nécessaires pour atteindre le taux d'erreurs binaires spécifié par le fabricant, mesuré en utilisant la procédure contenue dans la CEI 61280-2-1 et la CEI 61280-3-6. La valeur de la sensibilité du récepteur spécifiée doit inclure les dégradations de performances suivantes:

Annex A

Statistical system design (statistical approach to gain and loss)

A.1 Introduction

This annex presents a statistical treatment of the system gain G and cable plant loss L . This statistical method is an alternative to the worst-case approach of clauses 4 and 5. Certain users may request statistical parameters for fibre optic terminal equipment and cable, and statistical calculations instead of (or in addition to) their worst-case counterparts.

The statistical values of the parameters entering into the G and L equations are expressed in terms of mean values and standard deviations. (The sample size should be 20 or greater.) However, if the statistical values of a particular parameter are not known, then its worst-case value (as defined in clause 4) must be used. To substitute a worst-case value (in the G and L equations) in place of statistical values, the worst-case value is used in place of the mean value and the standard deviation is set equal to zero. Blank detail specifications are used for collecting statistical parameters for terminal equipment under standard conditions, and also for cable transmission parameters, which should be provided by the supplier and the system designer.

For purposes of basic fibre optic system design and analysis, the statistical approach can follow the procedure of 5.3 if each instance of $(G - L)$ is replaced by $(\mu_{G-L} - 2\sigma_{G-L})$. The effects of dispersion tolerance are calculated as in 5.2 and 5.3.

A.2 System gain and cable loss

A.2.1 System gain

The equations for the mean and standard deviation of the system gain of the BFOS are:

$$\mu_G = P_T + P_R - P_D - R_P - M - \mu_{WDM} - I_{SM} \mu_{SM} - N_{CON} \mu_{CON}$$

and

$$\sigma_G = [\sigma_{PT}^2 + \sigma_{PR}^2 + \sigma_{WDM}^2 + \sigma_{PD}^2 + N_{CON} \sigma_{CON}^2]^{1/2}$$

where

P_T, σ_{PT} are the mean and standard deviation of the transmitter power (dBm) into the single-mode cable (on the line side of the transmitter unit connector), as described in 4.2, and as measured utilizing the procedure contained in IEC 61280-1-1. Transmitter power can be controlled to within the specified limits throughout its working life. Margin is accounted for in the standard deviations;

P_R, σ_{PR} are the mean and standard deviation of the receiver sensitivity, the input optical power (dBm) to the receiver on the line side of the receiver module connector, as described in 4.2, that is necessary to achieve the manufacturer specified bit error ratio as measured utilizing the procedure contained in IEC 61280-2-1 and IEC 61280-3-6. The receiver sensitivity value specified shall include the following performance degradations:

- a) variations décrites en 4.2;
- b) pénalité de puissance maximale de l'émetteur résultant de l'utilisation d'un émetteur pour le taux d'extinction dans le cas le plus défavorable (P_e) lorsqu'il est utilisé dans les conditions décrites en 4.2;
- c) pénalité de puissance maximale de l'émetteur résultant de l'utilisation d'un émetteur pendant un temps de montée/de descente correspondant au cas le plus défavorable lorsqu'il est utilisé dans les conditions décrites en 4.2.

Il convient que les paramètres du récepteur n'incluent pas la pénalité de puissance associée à la dispersion (élargissement d'impulsion) ou à la réflexion. Ils seront spécifiés séparément, par les paramètres (P_D , σ_{PD}) et R_P , respectivement.

P_D , σ_{PD} sont l'écart moyen et l'écart-type de la pénalité de puissance par dispersion (dB), de l'augmentation du niveau de puissance optique à l'entrée du récepteur prenant en compte la distorsion d'impulsion totale due à l'interférence intersymbole, et au bruit de partage de mode pour le taux binaire spécifique, le BER, de la dispersion maximale de l'émetteur-récepteur spécifiée par le fabricant, lorsqu'il est utilisé dans les conditions décrites en 4.2. La procédure permettant de mesurer la pénalité de puissance par dispersion figure dans la CEI 61280-2 et la CEI 61280-3.

R_P est la retenue de puissance par réflexion (dB), mesure de la puissance supplémentaire requise par le récepteur, lorsque la valeur de réflexion optique maximale spécifiée le fabricant (OR_{max}) est introduite sur le côté alimentation du connecteur de l'émetteur, pour atteindre les mêmes performances de BER que celles obtenues sans introduction de réflexion (OR_{max} est le pourcentage maximal (%) de puissance optique totale réfléchie pouvant être supportée par un émetteur tout en maintenant ses performances indiquées). La procédure de mesure de la pénalité par réflexion figure dans la CEI 61280-2 et la CEI 61280-3.

M est la marge de sécurité, en dB, pour les pertes imprévues, devant être déterminée par le concepteur du système pour une application spécifique. Noter que M ne doit pas inclure les pénalités dues aux pertes et dégradations prévues (par exemple, vieillissement du laser, vieillissement du câble, réflexion, réparations). Ces effets sont déjà intégrés dans les paramètres de transmission appropriés selon les définitions du présent rapport technique.

μ_{WDM} , σ_{WDM} sont l'écart moyen et l'écart-type de la perte globale (dB) associée à un équipement de multiplexage de division de longueur d'onde (aux deux extrémités), comprenant toutes les pertes d'insertion et les pertes de connecteurs supplémentaires, ainsi que d'autres dégradations. Les valeurs doivent tenir compte des effets de la température, de l'humidité et du vieillissement.

N_{CON} est le nombre de connecteurs. C'est le nombre recommandé par le fabricant pour un BFOS type. Il convient de ne pas inclure les connecteurs de l'unité d'émission ou de réception, car ils sont déjà pris en compte, respectivement au niveau de la puissance de l'émetteur et de la sensibilité du récepteur. Ce point sera pris en charge par un concepteur du système.

μ_{CON} , σ_{CON} sont l'écart moyen et l'écart-type de pertes entre connecteurs unimodaux (dB) à spécifier par le fabricant de connecteurs.

L_{SM} est la longueur totale en kilomètres, sur les deux extrémités d'un BFOS, d'un câble de bureau unimodal. Il s'agit de la longueur spécifiée par le concepteur du système.

μ_{SM} est la perte moyenne (dB/km) d'un câble de bureau unimodal.

Les paramètres de l'équipement terminal, que les fournisseurs doivent indiquer, sont résumés en A.4.1.

- a) variations as described in 4.2;
- b) maximum transmitter power penalty resulting from the use of a transmitter with a worst-case extinction ratio (P_e) when operated under the conditions described in 4.2;
- c) maximum transmitter power penalty resulting from the use of a transmitter with a worst-case rise/fall time when operated under the conditions described in 4.2.

The receiver parameters should not include the power penalty associated with dispersion (pulse broadening) or reflection. These will be specified separately by the parameters (P_D , σ_{PD}) and R_P , respectively.

P_D , σ_{PD} are the mean and standard deviation of dispersion power penalty (dB), the increase in receiver input optical power level to account for the total pulse distortion due to intersymbol interference and mode partition noise at the specific bit rate, BER, and maximum transceiver dispersion specified by the manufacturer, when operated under the conditions described in 4.2. The procedure for measuring dispersion power penalty is contained in IEC 61280-2 and IEC 61280-3.

R_P is the reflection power penalty (dB), a measure of the additional power required by a receiver, when the manufacturer specified value of maximum optical reflection (OR_{max}) is introduced at the line side of the transmitter connector, to achieve the same BER performance that is obtained without the introduced reflection (OR_{max} is the maximum percent (%) of total reflected optical power that a transmitter can accommodate and maintain its stated performance). The procedure for measuring the reflection penalty is contained IEC 61280-2 and IEC 61280-3.

M is the safety margin, in dB, for unexpected losses, to be determined by the system designer for a specific application. Note that M must not include penalties for expected losses and degradations (for example, laser ageing, cable ageing, reflection, repairs). These effects are already included in the appropriate transmission parameters, according to the definitions of this technical report.

μ_{WDM} , σ_{WDM} are the mean and standard deviation of the all-inclusive loss (dB) associated with wavelength-division-multiplexing equipment (at both ends), including all insertion and additional connector losses as well as other degradations. The allocations shall include the effects of temperature, humidity, and ageing.

N_{CON} is the number of connectors. This is the number recommended by the supplier for a typical BFOS. This should not include the transmitter unit or receiver unit connectors, since they are already accounted for in the transmitter power and receiver sensitivity, respectively. This will be the responsibility of a system designer.

μ_{CON} , σ_{CON} are the mean and standard deviation of single-mode to single-mode connector loss (dB) to be specified by the manufacturer of the connectors.

L_{SM} is the total length in kilometres, on both ends of a BFOS, of single-mode office cable. This is the length specified by the system designer.

μ_{SM} is the mean loss (dB/km) of single-mode office cable.

The terminal equipment parameters, to be provided by suppliers, are summarized in A.4.1.

A.2.2 Perte d'installation de câbles

Les équations relatives à l'écart moyen et l'écart-type de la perte d'installation de câbles à fibres dans un BFOS sont les suivantes:

$$\mu_L = l_t (\mu_C + \mu_\lambda) + N_S \mu_S$$

$$\sigma_L = [l_t l_R (\sigma_{cmx}^2 + \sigma_{cT}^2) + N_S \sigma_S^2]^{1/2}$$

où

l_t est la longueur totale de la gaine d'une installation de câbles à fibres épissurées, en km. Cette valeur peut inclure une marge tenant compte de la réparation des câbles;

l_R est la longueur de touret d'un câble à fibre, en km;

μ_C est la perte moyenne dans le câble (dB/km) à la fin de la durée de vie du câble et pour la longueur d'onde centrale nominale de l'émetteur $l_{t \text{ nom}}$ (voir la figure A.1);

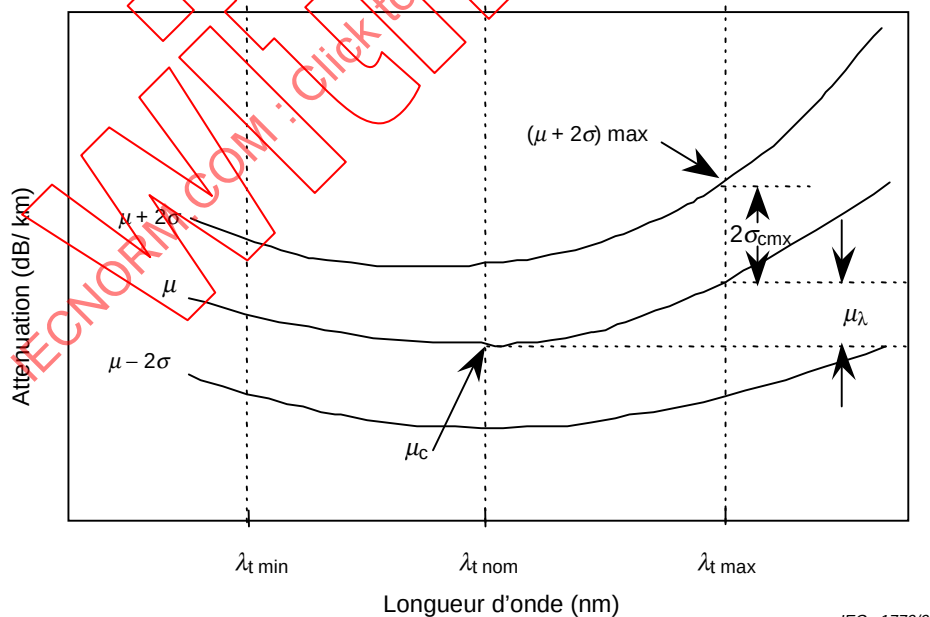
σ_{cmx} est l'écart-type de perte dans le câble (dB/km) déterminé pour la longueur d'onde s'inscrivant dans l'intervalle autorisé de l'émetteur, pour laquelle se produit la perte moyenne plus deux sigma la plus importante dans le câble. Il convient d'intégrer dans cette valeur une marge tenant compte de l'incertitude du fournisseur lors de la mesure de la perte des sections de câble en usine (voir la figure A.1);

μ_λ est l'augmentation de la perte de câble moyenne (dB/km) au-dessus de σ_c mesurée à la longueur d'onde s'inscrivant dans l'intervalle de longueurs d'onde centrales de l'émetteur pour laquelle survient la perte moyenne plus deux sigma la plus importante (voir la figure A.1);

N_S est le nombre d'épissures dans un câble multifibre de longueur l_t (y compris celles existant au niveau de l'interconnexion de câbles aux deux extrémités de la section), plus toute marge tenant compte des épissures supplémentaires dans le cas d'une réparation du câble;

μ_S, σ_S sont l'écart moyen et écart-type de la perte par raccord (dB/épissure).

Les paramètres de câble, à présenter par les fournisseurs, sont résumés dans A.4.2.



IEC 1779/99

NOTE Cette figure est seulement un exemple. En fait, $(\mu + 2\sigma) \text{ max.}$ peut survenir à $l_{t \text{ min}}$, $l_{t \text{ max}}$, ou pour une autre longueur d'onde entre $l_{t \text{ min}}$ et $l_{t \text{ max}}$, par rapport à $l_{t \text{ nom}}$.

Figure A.1 – Longueur d'onde dépendant de la détermination des caractéristiques d'atténuation de μ_λ et de σ_{cmx}