

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 2-12: Digital systems – Measuring eye diagrams and Q-factor using a
software triggering technique for transmission signal quality assessment**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres
optiques –
Partie 2-12: Systèmes numériques – Mesure des diagrammes de l'œil et du
facteur de qualité à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel pour
l'évaluation de la qualité de la transmission de signaux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

R

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-1545-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Abbreviated terms	6
4 Software synchronization method and Q -factor	6
4.1 Example of asynchronous waveform and eye diagram reconstructed by software triggering technique	6
4.2 Q -factor formula.....	7
5 Apparatus.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Optical bandpass filter	10
5.3 High frequency receiver	10
5.4 Clock oscillator	11
5.5 Electric pulse generator	11
5.6 Sampling module	11
5.7 Electric signal processing circuit	12
5.8 Optical clock pulse generator	12
5.9 Optical sampling module	12
5.10 Optical signal processing circuit.....	12
5.11 Synchronization bandwidth	12
5.12 Monitoring system parameters	13
6 Procedure.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Measuring eye diagrams and Q calculations	13
Annex A (informative) Example of the signal processing required to reconstruct the synchronous eye diagram	15
Annex B (informative) Adequate sampling time width (gate width).....	17
Bibliography.....	18
Figure 1 – Asynchronous waveform and synchronous eye diagram of 40 Gbps RZ-signal reconstructed by software triggering technique	7
Figure 2 – RZ synchronous eye diagram reconstructed by software triggering technique, time window, and histogram.....	8
Figure 3 – Example of relationship between Q -factor and window width.....	8
Figure 4 – Test system 1 for measuring eye diagrams and Q -factor using the software triggering technique	9
Figure 5 – Test system 2 for measuring eye diagrams and Q -factor using the software triggering technique	10
Figure A.1 – Block diagram of the software triggering module	15
Figure A.2 – Example of interpolating a discrete spectrum and determining beat frequency.....	16
Figure B.1 – The typical calculated relationship between the adequate sampling time width (gate width) and the bit rate of the optical signal.....	17
Table 1 – Monitoring system parameters.....	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –**Part 2-12: Digital systems –
Measuring eye diagrams and Q-factor using a software triggering
technique for transmission signal quality assessment**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of patents concerning software synchronization given in Clause 4 and procedure for calculating eye-diagrams and Q-factor given in Clause 6.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of these patent rights.

The holders of these patent rights have assured the IEC that they are willing to negotiate licences either free of charge or under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statements of these holders of these patent rights are registered with IEC.

For US patent 6,744,496, information may be obtained from:

Alcatel-Lucent
Intellectual Property Business Group
16 Brookside Dr.
Sutton, MA 01590 USA

For Japanese patent 3987001 and US patent 7190752, information may be obtained from:

Nippon Telegraph and Telephone Corporation
9-11, Midori-cho, 3-Chrome Musashino-Shi
Tokyo 180-8585 Japan

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those identified above. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

International Standard IEC 61280-2-12 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
86C/1150/CDV	86C/1220/RVC

Full information on the voting for the approval of this standard 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 2.

A list of all parts in the IEC 61280 series, published under the general title *Fibre optic communication subsystem test procedures*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Signal quality monitoring is important for operation and maintenance of optical transport networks (OTN). From the network operator's point of view, monitoring techniques are required to establish connections, protection, restoration, and/or service level agreements. In order to establish these functions, the monitoring techniques used should satisfy some general requirements:

- in-service (non-intrusive) measurement
- signal deterioration detection (both SNR degradation and waveform distortion)
- fault isolation (localize impaired sections or nodes)
- transparency and scalability (irrespective of the signal bit rate and signal formats)
- simplicity (small size and low cost).

There are several approaches, both analogue and digital techniques, which make it possible to detect various impairments:

- bit error rate (BER) estimation [1,2]¹
- error block detection
- optical power measurement
- optical SNR evaluation with spectrum measurement [3,4]
- pilot tone detection [5,6]
- Q-factor monitoring [7]
- pseudo BER estimation using two decision circuits [8,9]
- histogram evaluation with synchronous eye diagram measurement [10].

A fundamental performance monitoring parameter of any digital transmission system is its end-to-end BER. However, the BER can be correctly evaluated only with out of service BER measurements, using a known test bit pattern in place of the real signal. On the other hand, in-service measurement can only provide rough estimates through the measurement of digital parameters (e.g., BER estimation, error block detection, and error count in forward error correction) or analogue parameters (e.g., optical SNR and Q-factor).

An in-service optical Q-factor monitoring can be used for accurate quality assessment of transmitted signals on wavelength division multiplexed (WDM) networks. Chromatic dispersion (CD) compensation is required for Q monitoring at measurement point in CD uncompensated optical link. However, conventional Q monitoring method is not suitable for signal evaluation of transmission signals, because it requires timing extraction by complex equipment that is specific to each BER and each format.

The software triggering technique [11-14] reconstructs synchronous eye-diagram waveforms without an external clock signal synchronized to optical transmission signal from digital data obtained through asynchronous sampling. It does not rely on an optical signal's transmission rate and data formats (RZ or NRZ). Measuring method of eye diagrams and Q-factor using the software triggering technique is a cost-effective alternative to BER estimations. With eye diagrams and Q-factor using software triggering test method, signal quality degradations due to optical signal-to-noise ratio (OSNR) degradation, to jitter fluctuations and to waveform distortion can be monitored.

This is one of the promising performance-monitoring approaches for intensity modulated direct detection (IM-DD) optical transmission systems.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 2-12: Digital systems – Measuring eye diagrams and Q-factor using a software triggering technique for transmission signal quality assessment

1 Scope

This part of IEC 61280 defines the procedure for measuring eye diagrams and Q-factor of optical transmission (RZ and NRZ) signals using software triggering technique as shown in 4.1 [14].

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61280-2-2, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 2-2: Test procedure for digital systems – Optical eye pattern, waveform, and extinction ratio measurement*

ITU-T Recommendation G.959.1: 2012, *Optical transport network physical layer interfaces*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	21
INTRODUCTION.....	24
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives	26
3 Termes abrégés	26
4 Méthode de synchronisation logicielle et facteur de qualité.....	27
4.1 Exemple de forme d'onde asynchrone et de diagramme de l'œil reconstruits par une technique par déclenchement logiciel.....	27
4.2 Formule du facteur de qualité	27
5 Appareillage	29
5.1 Généralités	29
5.2 Filtre passe-bande optique.....	30
5.3 Récepteur haute fréquence.....	30
5.4 Oscillateur d'horloge	31
5.5 Générateur d'impulsions électriques	32
5.6 Module d'échantillonnage.....	32
5.7 Circuit de traitement du signal électrique	32
5.8 Générateur d'impulsions d'horloge optique.....	32
5.9 Module d'échantillonnage optique	32
5.10 Circuit de traitement du signal optique	32
5.11 Largeur de bande de synchronisation	33
5.12 Paramètres du système de surveillance	33
6 Procédure.....	34
6.1 Généralités	34
6.2 Mesure des diagrammes de l'œil et calculs du facteur de qualité Q	34
Annexe A (informative) Exemple de traitement du signal nécessaire pour reconstruire le diagramme de l'œil synchrone.....	35
Annexe B (informative) Largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement)	37
Bibliographie.....	38
Figure 1 – Forme d'onde asynchrone et diagramme de l'œil synchrone d'un signal RZ à 40 Gb/s reconstruit par une technique par déclenchement logiciel	27
Figure 2 – Diagramme de l'œil synchrone RZ reconstruit par une technique par déclenchement logiciel, fenêtre temporelle et histogramme	28
Figure 3 – Exemple de relation entre le facteur de qualité et la largeur de la fenêtre.....	28
Figure 4 – Système d'essai 1 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel	29
Figure 5 – Système d'essai 2 pour mesurer les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité en utilisant la technique par déclenchement logiciel	30
Figure A.1 – Schéma-bloc du module de déclenchement logiciel	36
Figure A.2 – Exemple d'interpolation d'un spectre discret et détermination de la fréquence de battement	36
Figure B.1 – Relation type calculée entre la largeur temporelle d'échantillonnage adéquate (largeur de déclenchement) et le débit binaire du signal optique.....	37
Tableau 1 – Paramètres du système de surveillance.....	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES
DE TÉLÉCOMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –****Partie 2-12: Systèmes numériques –
Mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide d'une
technique par déclenchement logiciel pour l'évaluation de la qualité de la
transmission de signaux**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant la synchronisation logicielle traitée à l'Article 4, et intéressant la procédure de calcul les diagrammes de l'œil et du facteur de qualité traitée à l'Article 6.

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, soit sans frais soit à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC.

Concernant le brevet US n° 6.744.496, des informations peuvent être demandées à:

Alcatel-Lucent
Intellectual Property Business Group
16 Brookside Dr.
Sutton, MA 01590 USA

Concernant le brevet japonais n° 3987001 et le brevet US n° 7.190.752, des informations peuvent être demandées à:

Nippon Telegraph and Telephone Corporation
9-11, Midori-cho, 3-Chrome Musashino-Shi
Tokyo 180-8585 Japan

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

L'ISO (www.iso.org/patents) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) maintiennent des bases de données, consultables en ligne, des droits de propriété pertinents à leurs normes. Les utilisateurs sont encouragés à consulter ces bases de données pour obtenir l'information la plus récente concernant les droits de propriété.

La norme internationale IEC 61280-2-12 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/1150CDV	86C/1220/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61280, publiées sous le titre général *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La surveillance de la qualité des signaux est importante pour le fonctionnement et la maintenance des réseaux de transport optiques (OTN). Du point de vue de l'opérateur du réseau, les techniques de surveillance sont nécessaires pour l'établissement d'accords portant sur les connexions, la protection, le rétablissement et/ou le niveau de service. Pour établir ces fonctions, il convient que les techniques de surveillance utilisées soient conformes à certaines exigences générales:

- mesures (non intrusives) en service;
- détection de la détérioration des signaux (à la fois dégradation du SNR (rapport signal sur bruit) et distorsion de la forme d'onde;
- isolation des défauts (localisation de sections ou de nœuds affectés);
- transparence et hiérarchisation (quels que soient le débit binaire du signal et les formats des signaux);
- simplicité (petite taille et faible coût).

Il existe plusieurs approches, tant par des techniques analogiques que numériques, qui permettent de détecter différentes déficiences:

- estimation du taux d'erreur binaire (BER) [1,2];¹
- détection de blocs d'erreur;
- mesure de la puissance optique;
- évaluation du SNR optique avec mesure de spectre [3, 4];
- détection de ton pilote [5,6];
- surveillance du facteur de qualité [7];
- estimation de pseudo-BER en utilisant deux circuits de décision [8,9];
- évaluation par histogrammes avec mesure du diagramme de l'œil synchrone [10].

Un des paramètres fondamentaux de surveillance des performances de tout système de transmission numérique est son BER de bout en bout. Toutefois, le BER ne peut être évalué correctement qu'avec des mesures de BER en dehors de tout service en utilisant une représentation de bits d'essai connue à la place du signal réel. Par ailleurs, la mesure en service ne peut donner que des estimations grossières par la mesure des paramètres numériques (par exemple, estimation du BER, détection de blocs d'erreur et comptage des erreurs dans la correction d'erreur directe) ou des paramètres analogiques (par exemple SNR optique et facteur de qualité).

Une surveillance du facteur de qualité optique en service peut être utilisée pour une évaluation de qualité précise des signaux transmis sur des réseaux multiplexés par répartition en longueur d'onde (WDM). La compensation de dispersion chromatique (CD) est exigée pour la surveillance de la qualité au niveau du point de mesure, dans une liaison optique non compensée en CD. Toutefois, une méthode de surveillance classique de la qualité n'est pas appropriée à l'évaluation du signal pendant la transmission des signaux, car elle exige une extraction temporelle avec des équipements complexes qui sont spécifiques à chaque BER et à chaque format.

La technique par déclenchement logiciel [11-14] reconstruit les formes d'onde du diagramme de l'œil synchrone sans signal d'horloge externe synchronisé avec la transmission du signal optique, à partir des données numériques obtenues par échantillonnage asynchrone. Elle n'est pas basée sur la vitesse de transmission du signal optique et sur les formats des

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

données (RZ ou NRZ). La méthode de mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide de la technique par déclenchement logiciel est une alternative économique aux estimations de BER. Avec les diagrammes de l'œil et le facteur de qualité utilisant la méthode par déclenchement logiciel, les dégradations de la qualité du signal dues à la dégradation du rapport signal sur bruit optique (OSNR), aux fluctuations de gigue et à la distorsion de la forme d'onde, peuvent être surveillées.

Cela constitue une des approches prometteuses de surveillance des performances pour les systèmes de transmission optique modulés en intensité, détection directe (IM-DD).

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION À FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-12: Systèmes numériques – Mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel pour l'évaluation de la qualité de la transmission de signaux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61280 définit la procédure de mesure des diagrammes de l'œil et du facteur de qualité de la transmission de signaux optique (RZ et NRZ) à l'aide d'une technique par déclenchement logiciel, présentée en 4.1 [14].

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61280-2-2, *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 2-2: Test procedure for digital systems – Optical eye pattern, waveform and extinction ratio measurement*

(disponible en anglais seulement)

ITU-T Recommendation G.959.1:2012, *Optical transport network physical layer interfaces*
(disponible en anglais seulement)