

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**Fibre optic communication subsystem test procedures –  
Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense  
wavelength-division multiplexed systems**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications  
à fibres optiques –  
Partie 2-9: Systèmes numériques – Mesure du rapport signal sur bruit optique  
pour les systèmes multiplexés à répartition en longueur d'onde dense**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tél.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Fibre optic communication subsystem test procedures –  
Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense  
wavelength-division multiplexed systems**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications  
à fibres optiques –  
Partie 2-9: Systèmes numériques – Mesure du rapport signal sur bruit optique  
pour les systèmes multiplexés à répartition en longueur d'onde dense**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

S

---

ICS 33.180.20

ISBN 2-8318-1029-1

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	8
3 Definition.....	8
4 Apparatus.....	9
4.1 General.....	9
4.2 Diffraction grating-based OSA.....	9
4.3 Michelson interferometer-based OSA.....	10
4.4 Fabry-Perot-based OSA.....	10
4.5 OSA performance requirements.....	11
4.5.1 General.....	11
4.5.2 Wavelength range.....	11
4.5.3 Sensitivity.....	11
4.5.4 Resolution bandwidth (RBW).....	11
4.5.5 Resolution bandwidth accuracy.....	12
4.5.6 Dynamic range.....	12
4.5.7 Scale fidelity.....	13
4.5.8 Polarization dependence.....	13
4.5.9 Wavelength data points.....	13
5 Sampling and specimens.....	13
6 Procedure.....	13
7 Calculations.....	14
8 Measurement uncertainty.....	14
9 Documentation.....	14
Annex A (informative) Error in measuring signal level due to signal spectral width.....	16
Annex B (informative) Error in measuring noise level due to signal spectral width and wavelength filtering.....	19
Bibliography.....	21
Figure 1 – A typical optical spectrum at an optical interface in a multichannel transmission system.....	8
Figure 2 – The OSNR for each channel as derived from direct measurements of the optical spectrum.....	9
Figure 3 – A diffraction grating-based OSA.....	10
Figure 4 – A Michelson interferometer-based OSA.....	10
Figure 5 – A Fabry-Perot-based OSA.....	11
Figure 6 – Illustration of insufficient dynamic range as another source of measurement uncertainty.....	13
Figure A.1 – The power spectrum of a 10 Gb/s, $2^7 - 1$ PRBS signal showing the considerable amount of power not captured in a 0,1 nm RBW with 0,64 nm filtering after the signal.....	17
Figure A.2 – The spectrum of a 2,5 Gb/s $2^7 - 1$ PRBS with 0,36 nm filtering with considerably less power outside the 0,1 nm OSA RBW.....	17
Figure A.3 – Signal power error versus RBW for a 10 Gb/s modulated signal.....	18

Figure A.4 – Signal power error versus RBW for a 2,5 Gb/s modulated signal..... 18

Figure B.1 – Example for noise filtering between channels for a 200 GHz grid ..... 20

Table A.1 – Filtering used in simulation to determine signal power level error ..... 16

Table A.2 – RBW to achieve less than 0,1 dB error in signal power ..... 18

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –****Part 2-9: Digital systems –  
Optical signal-to-noise ratio measurement  
for dense wavelength-division multiplexed systems**

## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

International Standard IEC 61280-2-9 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics

This second addition cancels and replaces the first edition published in 2002 and constitutes a technical revision. The main changes from the previous edition are as follows:

- A paragraph has been added to the Scope describing the limitations due to signal spectral width and wavelength filtering.
- Annex B has been added to further explain error in measuring noise level due to signal spectral width and wavelength filtering.

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

CDV	Report on voting
86C/823/CDV	86C/864/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 the parts in the IEC 61280 series, 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 maintenance result 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.

## INTRODUCTION

At the optical interfaces within wavelength-division multiplexed (WDM) networks, it is desirable to measure parameters that provide information about the integrity of the physical plant. Such parameters are necessary to *monitor* network performance as an integral part of network management. They are also necessary to assure proper system operation for *installation and maintenance* of the network.

Ideally, such parameters would directly correspond to the bit error ratio (BER) of each channel of a multichannel carrier at the particular optical interface. Related parameters such as Q-factor or those calculated from optical eye patterns would provide similar information, that is, they would correlate to the channel BER. However, it is difficult to obtain access to these parameters at a multichannel interface point. It is necessary to demultiplex the potentially large number of channels and make BER, Q-factor, or eye-diagram measurements on a per-channel basis.

In contrast, useful information about the optical properties of the multichannel carrier is readily obtained by measuring the optical spectrum. Wavelength-resolved signal and noise levels provide information on signal level, signal wavelength, and amplified spontaneous emission (ASE) for each channel. Spectral information, however, does not show signal degradation due to wave-shape impairments resulting from polarization-mode dispersion (PMD), and chromatic dispersion. Also, intersymbol interference and time jitter are not revealed from an optical signal to noise ratio (OSNR) measurement. In spite of these limitations, OSNR is listed as an interface parameter in ITU-T Rec. G.692 [1]<sup>1</sup>, as an optical monitoring parameter in ITU-T Rec. G.697 [2] and in ITU-T G Rec. Sup. 39 [3].

---

<sup>1</sup> Figures in brackets refer to the bibliography.

## FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

### Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems

#### 1 Scope

This part of IEC 61280 provides a parameter definition and a test method for obtaining optical signal-to-noise ratio (OSNR) using apparatus that measures the optical spectrum at a multichannel interface. Because noise measurement is made on an optical spectrum analyzer, the measured noise does not include source relative intensity noise (RIN) or receiver noise.

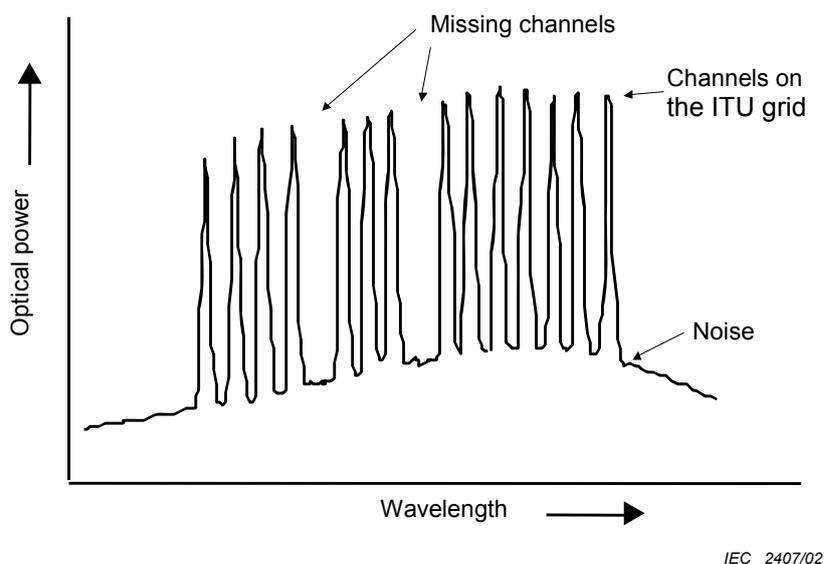
Three implementations for an optical spectrum analyser (OSA) are discussed: a diffraction-grating-based OSA, a Michelson interferometer-based OSA, and a Fabry-Perot-based OSA. Performance characteristics of the OSA that affect OSNR measurement accuracy are provided.

A typical optical spectrum at a multichannel interface is shown in Figure 1. Important characteristics are as follows.

- The channels are placed nominally on the grid defined by ITU Recommendation G.694.1.[4]
- Individual channels may be non-existent because it is a network designed with optical add/drop demultiplexers or because particular channels are out of service.
- Both channel power and noise power are a function of wavelength.

For calculating the OSNR, the most appropriate noise power value is that at the channel wavelength. However, with a direct spectral measurement, the noise power at the channel wavelength is included in the signal power and is difficult to extract. An estimate of the channel noise power can be made by interpolating the noise power value between channels.

The accuracy of estimating the noise power at the signal wavelength by interpolating the noise power at an offset wavelength can be significantly reduced when the signal spectrum extends into the gap between the signals and when components such as add-drop multiplexers along the transmission span modify the spectral shape of the noise. These effects are discussed in further detail in Annex B, and can make the method of this document unusable for some situations. In such cases, where signal and noise cannot be sufficiently separated spectrally, it is necessary to use more complex separation methods, like polarization or time-domain extinction, or to determine signal quality with a different parameter, such as RIN. This is beyond the scope of the current document.



**Figure 1 – Typical optical spectrum at an optical interface in a multichannel transmission system**

**2 Normative references**

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

IEC 61290-3-1, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3-1: Noise figure parameters – Optical spectrum analyzer method*

IEC 62129, *Calibration of optical spectrum analyzers*

**3 Terms and definitions**

For the purposes of this document, the following terms and definition apply.

**3.1 optical signal-to-noise ratio OSNR**

ratio in decibels, from the optical spectrum, defined by the equation

$$OSNR = 10\text{Log} \frac{P_i}{N_i} + 10\text{Log} \frac{B_m}{B_r} \quad \text{dB}, \tag{1}$$

where

$P_i$  is the optical signal power, in watts, at the  $i$ -th channel,

$B_r$  is the reference optical bandwidth, and

$N_i$  is the interpolated value of noise power, in watts, measured in the noise equivalent bandwidth,  $B_m$ , given by

$$N_i = \frac{N(\lambda_i - \Delta\lambda) + N(\lambda_i + \Delta\lambda)}{2} \quad (2)$$

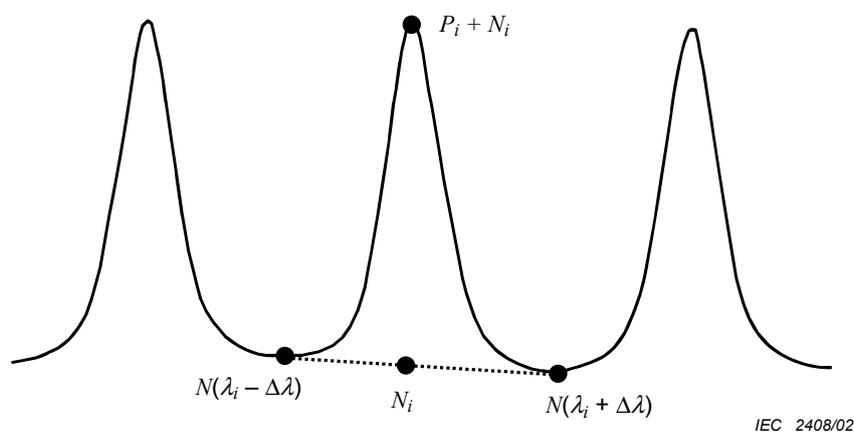
at the  $i$ -th channel, where

$\lambda_i$  is the wavelength of the  $i$ -th channel, and

$\Delta\lambda$  is the interpolation offset equal to or less than one-half of the ITU grid spacing.

(The units for  $B_m$  and  $B_r$  may be in frequency or wavelength but must be consistent.) Typically, the reference optical bandwidth is 0,1 nm. See Figure 2.

NOTE The noise equivalent bandwidth of a filter is such that it would pass the same total noise power as a rectangular passband that has the same area as the actual filter, and the height of which is the same as the height of the actual filter at its centre wavelength.



**Figure 2 – OSNR for each channel as derived from direct measurements of the optical spectrum**

## 4 Apparatus

### 4.1 General

The required apparatus is an optical spectrum analyzer (OSA) with the performance necessary to measure the signal and noise powers required for Equation (1). Three common ways to implement an OSA are with a diffraction grating, a Michelson interferometer, and a Fabry-Perot etalon.

### 4.2 Diffraction grating-based OSA

A simplified diagram of a diffraction grating-based OSA is shown in Figure 3. The expanded input light is incident on a rotatable diffraction grating. The diffracted light comes off at an angle proportional to wavelength and passes through an aperture to a photodetector. The size of the input and output apertures and the size of the beam on the diffraction grating determine the spectral width of the resulting filter and therefore the resolution of the OSA. A/D conversion and digital processing provide the familiar OSA display.

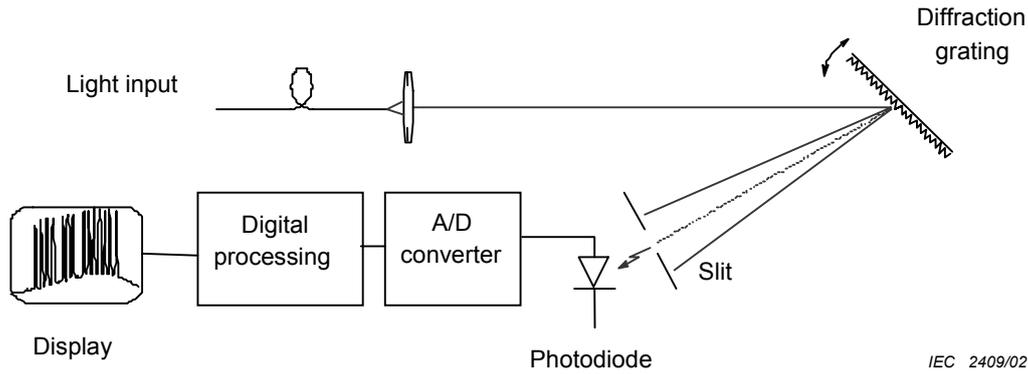


Figure 3 – Diffraction grating-based OSA

### 4.3 Michelson interferometer-based OSA

Another type of OSA is based on the Michelson interferometer as shown in Figure 4. The input signal is split into two paths. One path is fixed in length and one is variable. The Michelson interferometer creates an interference pattern between the signal and a delayed version of itself at the photodetector. The resulting waveform, called an interferogram, is the autocorrelation of the input signal. A Fourier transform performed on the autocorrelation provides the optical spectrum. The resolution of this type of OSA is set by the differential path delay of the interferometer.

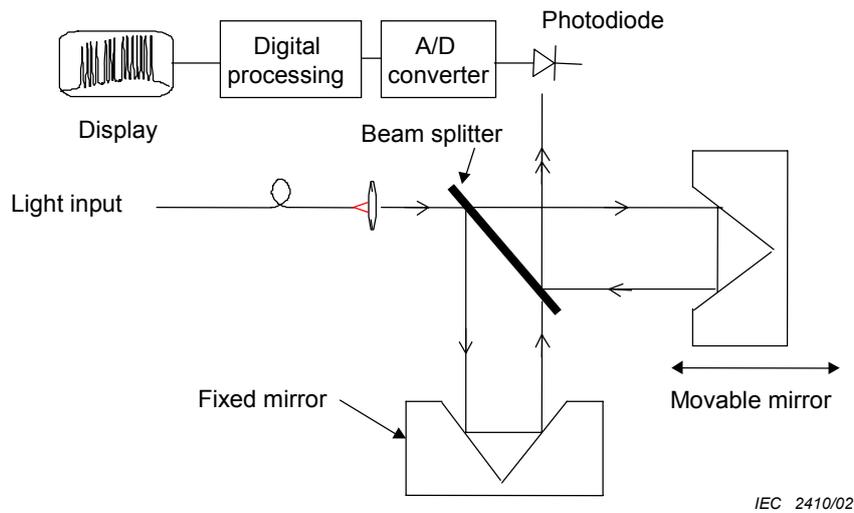
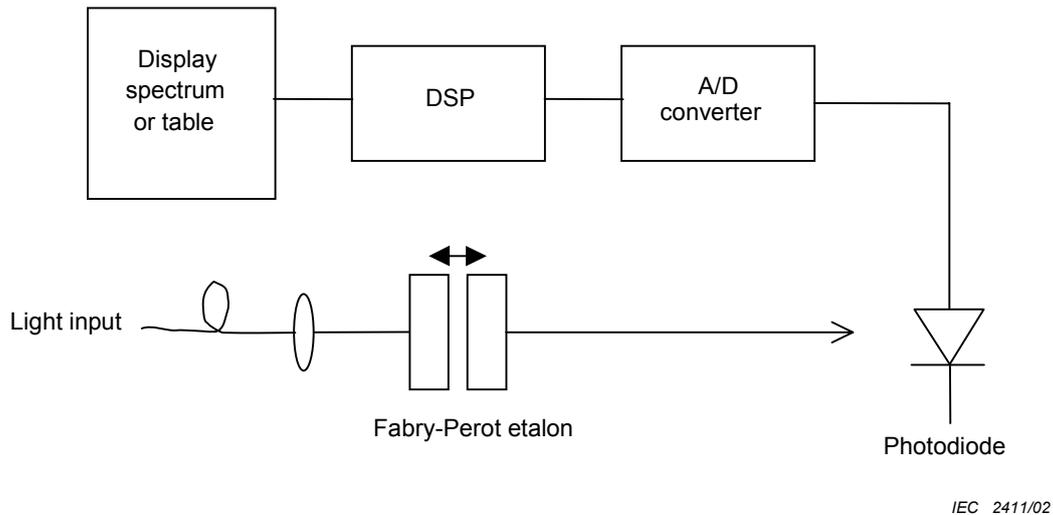


Figure 4 – Michelson interferometer-based OSA

### 4.4 Fabry-Perot-based OSA

A third type of OSA is based on a Fabry-Perot etalon as shown in Figure 5. The collimated beam passes through a Fabry-Perot etalon, the free spectral range (FSR) of which is greater than the channel plan and the finesse is chosen to give the required resolution bandwidth (RBW). Piezo-electric actuators control the Fabry-Perot mirror spacing and provide spectral tuning. Digital signal processing provides any combination of spectral display or tabular data.



**Figure 5 – Fabry-Perot-based OSA**

## 4.5 OSA performance requirements

### 4.5.1 General

Refer to IEC 62129 for calibration details.

### 4.5.2 Wavelength range

The wavelength range shall be sufficient to cover the channel plan plus one-half grid spacing on each end of the band to measure the noise of the lowest and highest channels.

### 4.5.3 Sensitivity

The sensitivity of an OSA is defined as the lowest level at which spectral power can be measured with a specified accuracy. The OSA sensitivity must be sufficient to measure the lowest expected noise level. In terms of OSNR,

$$\text{Required sensitivity (dBm)} = \text{Minimum channel level (dBm)} - \text{OSNR (dB)} \quad (3)$$

For example, the sensitivity required for a minimum channel level of  $-10$  dBm in order to measure a 35-dB OSNR is

$$-10 \text{ dBm} - 35 \text{ dB} = -45 \text{ dBm}$$

### 4.5.4 Resolution bandwidth (RBW)

The relationship of the measured peak power to the total signal power depends on the spectral characteristics of the signal and the resolution bandwidth. The resolution bandwidth must be sufficiently wide to accurately measure the power level of each modulated channel. The proper RBW setting depends on the bit rate. For example, the signal power of a laser modulated at an OC-192 (STM-64) rate with zero chirp will measure 0,8 dB lower with a 0,1-nm RBW than with a wide RBW. This results from the modulation envelope having a portion of its spectral power outside of the 0,1-nm RBW. If the RBW is decreased to 0,05 nm, the signal power will measure 2,5 dB lower. This effect is made worse by the presence of laser chirp and lessened by additional bandwidth limiting in the transmitter laser's modulation circuitry. This subject is treated in more detail in Annex A.

When the signal spreads spectrally into the range between the channels, as due to high modulation rates, then the resolution must be sufficiently narrow to exclude the signal power from the noise measurement enough to allow the desired accuracy for the given level of noise. For example in the above case, if the OC-192 (STM-64) signals are spaced 0,2 nm apart (25 GHz grid), then the spectral power outside an 0,1-nm-RBW signal measurement would all be included in the noise measurement with 0,1-nm RBW. This 17 % of the signal power would result in a best measurable OSNR of only about 7 dB. The topic is also discussed in Annex B.

#### 4.5.5 Resolution bandwidth accuracy

The accuracy of the noise measurement is directly impacted by the accuracy of the OSA's RBW. For best accuracy, the OSA's *noise equivalent bandwidth*,  $B_m$ , must be calibrated. RBW, in general, differs from  $B_M$  due to the non-rectangular shape of the optical spectrum analyzer's filter characteristic. The procedure for calibrating  $B_m$  is given in IEC 61290-3-1, where it is referred to as *optical bandwidth*.

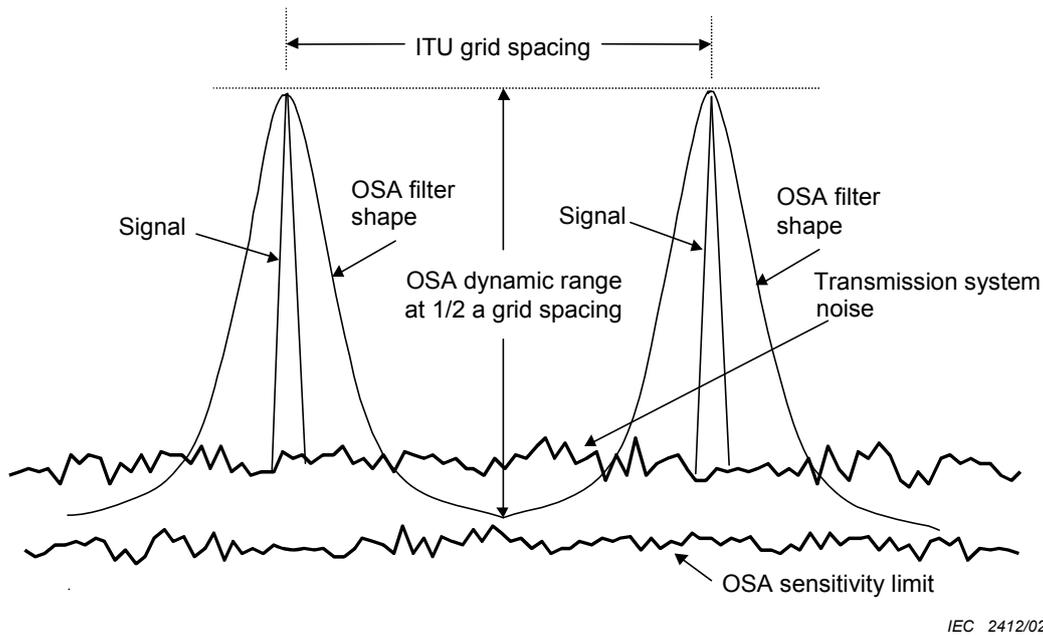
#### 4.5.6 Dynamic range

The dynamic range of an OSA is a measure of the OSA's ability to make measurements of low-level signals and noise that are close in wavelength to large signals. It is important to note that narrowing the RBW does not necessarily correlate to better dynamic range. RBW is a measure of the 3-dB bandwidth or noise equivalent bandwidth of its filter characteristic. Dynamic range, on the other hand, is a measure of the steepness of the filter characteristic and the OSA noise floor. Dynamic range is defined as the ratio, in dB, of the filter transmission characteristic at the centre wavelength,  $\lambda_i$ , and at one-half a grid spacing away,  $\lambda_i \pm \Delta\lambda$ .

Figure 6 shows two channels of a multichannel spectrum, the OSA filter characteristic, the OSA sensitivity limit, and the transmission system noise that is to be measured. At the noise measurement wavelength, the dynamic range must be significantly higher than the OSNR for accurate measurements. The uncertainty contribution can be predicted from the following equation:

$$\text{Uncertainty in OSNR} = 10 \log(1+10^{-D/10}) \text{ dB}, \quad (4)$$

where  $D$  is the value in dB by which the OSA dynamic range exceeds the actual OSNR. For example, for an OSNR of 30 dB, a dynamic range of 40 dB (at ½ the ITU grid spacing) will cause an error of 0,42 dB.



**Figure 6 – Illustration of insufficient dynamic range as another source of measurement uncertainty**

In general, either the OSA sensitivity limit or dynamic range will limit the value of OSNR that can be measured. Typically, a Michelson interferometer-based OSA will be limited by the sensitivity limit and a diffraction grating-based OSA by the dynamic range.

#### 4.5.7 Scale fidelity

Scale fidelity, also called display linearity, is the relative error in amplitude that occurs over a range of input power levels. Scale fidelity directly contributes to the OSNR measurement uncertainty.

#### 4.5.8 Polarization dependence

Typically, the signal,  $P_i$  will be highly polarized while the noise,  $N_i$  is unpolarized. OSA polarization dependence will directly contribute to uncertainty in signal measurement.

#### 4.5.9 Wavelength data points

The minimum number of data points collected by the OSA shall be at least twice the wavelength span divided by the noise equivalent bandwidth.

## 5 Sampling and specimens

The device under test (DUT) is a multichannel fibre-optic transmission system or network. The measurement apparatus is connected to the network at any point by directly connecting to the optical fibre or via a broadband monitoring port. Measurement points following wavelength-selective components such as an add-drop multiplexer may be inappropriate due to the noise filtering effect described in Annex B.

## 6 Procedure

- a) Connect the OSA to the transmission fibre or a monitor port.
- b) Choose RBW values sufficiently wide to accurately measure the signal power and with sufficient dynamic range to measure the noise at  $\pm\Delta\lambda$  from the peak channel wavelength

where  $\Delta\lambda$  is half the ITU grid spacing or less if this gives a more accurate OSNR value due to noise filtering. (See annexes, Table A.2 and Subclause 4.5.6.)

- c) Set the wavelength range to accommodate all channels plus at least a half grid spacing below the lowest channel and above the highest channel.
- d) Measure the power level at the signal peak for the  $i$ -th of  $n$  channels. This value is  $P_i + N_i$  (refer to Figure 2).
- e) Measure the noise at  $\pm\Delta\lambda$  from the signal peak wavelength. Use a calibrated RBW with noise equivalent bandwidth,  $B_m$ . The measured values are  $N(\lambda_i - \Delta\lambda)$  and  $N(\lambda_i + \Delta\lambda)$ .
- f) Calculate the interpolated value of noise at each channel wavelength (Equation (2)):

$$N_i = \frac{N(\lambda_i - \Delta\lambda) + N(\lambda_i + \Delta\lambda)}{2} \quad (5)$$

- g) Calculate  $P_i$  by subtracting  $N_i$  from the value obtained in step d).
- h) Repeat steps d) through g) for all  $n$  channels.

NOTE This procedure may be done with two RBW settings: one that is sufficiently wide to measure total signal power, the second with sufficient dynamic range to measure noise at  $\pm\Delta\lambda$  from the peak channel wavelengths.

## 7 Calculations

- For each of the  $n$  channels, calculate the interpolated value of noise power,  $N_i$ , using step f) and  $P_i$  using step g) in Clause 6.
- For each of the  $n$  channels, calculate OSNR from Equation (1).

$$\text{OSNR} = 10 \text{ Log } \frac{P_i}{N_i} + 10 \text{ Log } \frac{B_m}{B_r} \quad (6)$$

## 8 Measurement uncertainty

Measurement uncertainty should be calculated based upon the *ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement*. [5]

Uncertainty contributions that must be considered are as follows:

- modulated signal power (4.5.4 and Annex A);
- OSA noise bandwidth (4.5.5);
- OSA dynamic range (4.5.6);
- OSA scale fidelity (4.5.7);
- OSA polarization dependence (4.5.8).

## 9 Documentation

Report the following information for each test:

- test date
- this standard number
- identification of the transmission system being tested and the test location
- description of the equipment used
- OSNR data
- OSA noise equivalent bandwidth,  $B_m$
- reference bandwidth,  $B_r$

- offset wavelength for noise measurement,  $\Delta\lambda$ , and ITU grid spacing
- measurement uncertainty

## Annex A (informative)

### Error in measuring signal level due to signal spectral width

The spectral width of each channel is broadened from that of the CW laser due to several causes:

- laser chirp
- intensity modulation for signal transmission
- modulation to suppress stimulated Brillouin scattering (SBS)
- self-phase modulation (SPM)
- cross-phase modulation

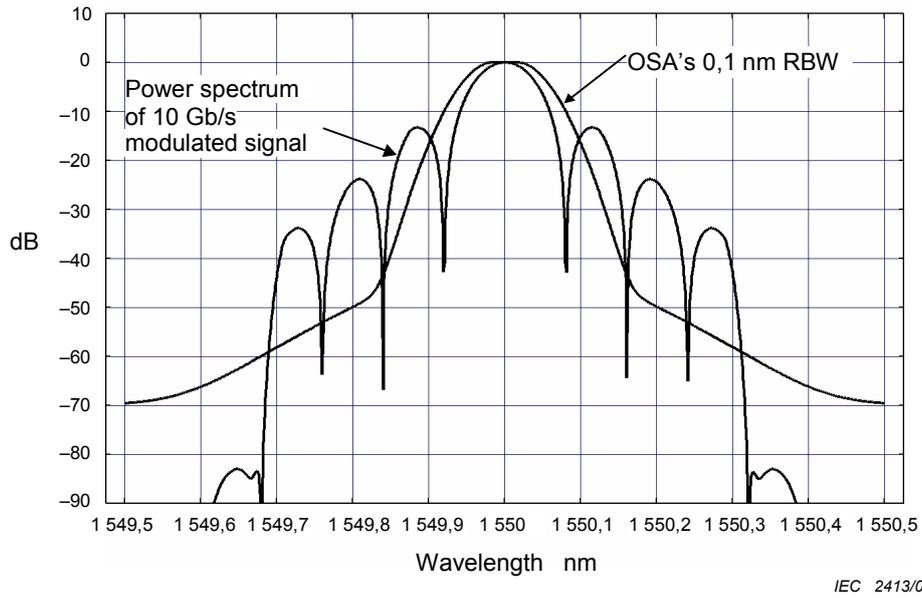
For dense WDM systems in which external modulation is generally used, laser chirp is not a factor. Broadening due to SBS suppression and SPM are typically small compared to the broadening due to the signal modulation at 2,5 Gb/s and higher rates.

Figures A.1 and A.2 show the calculated spectra of an intensity modulated laser for 10 Gb/s and 2,5 Gb/s line rates respectively. The modulation is an NRZ PRBS with a word length of  $2^7-1$ . Optical and electrical filtering values are indicated in Table A.1. For reference, a typical OSA filter characteristic for a 0,1-nm RBW is also shown.

Because a portion of the signal power is not captured by the OSA, an error in the measured signal power occurs. Figures A.3 and A.4 show the magnitude of the error for 10 Gb/s and 2,5 Gb/s data rates respectively.

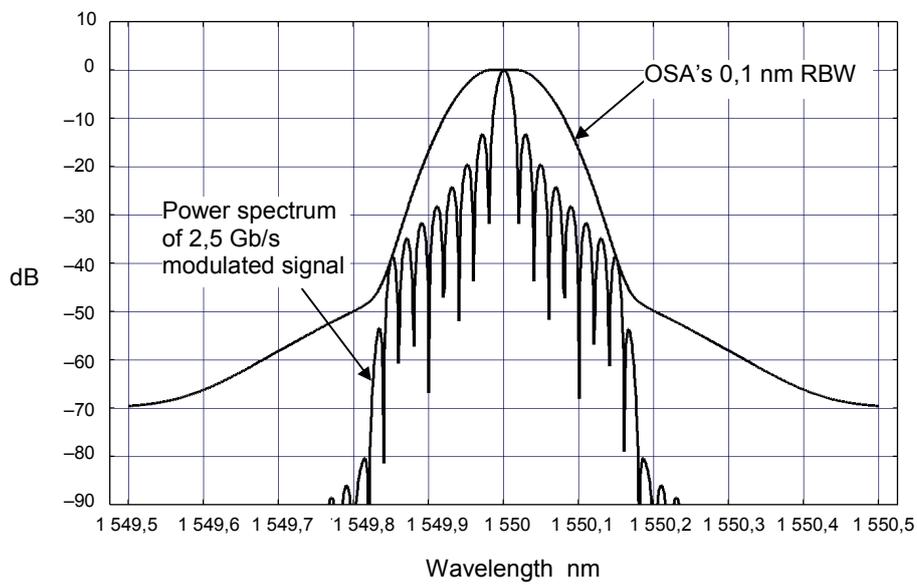
**Table A.1 – Filtering used in simulation to determine signal power level error**

Modulation rate	10 Gb/s	2,5 Gb/s
Electrical filter bandwidth	30 GHz	7,5 GHz
Optical filter bandwidth	0,64 nm	0,36 nm



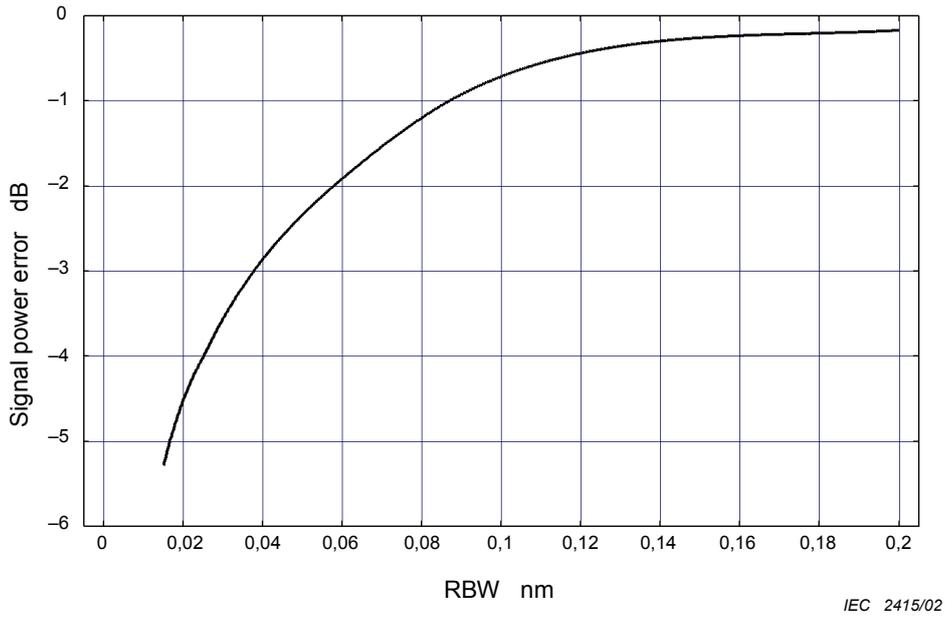
IEC 2413/02

**Figure A.1 – Power spectrum of a 10 Gb/s, 2<sup>7</sup> – 1 PRBS signal showing the considerable amount of power not captured in a 0,1 nm RBW with 0,64 nm filtering after the signal**

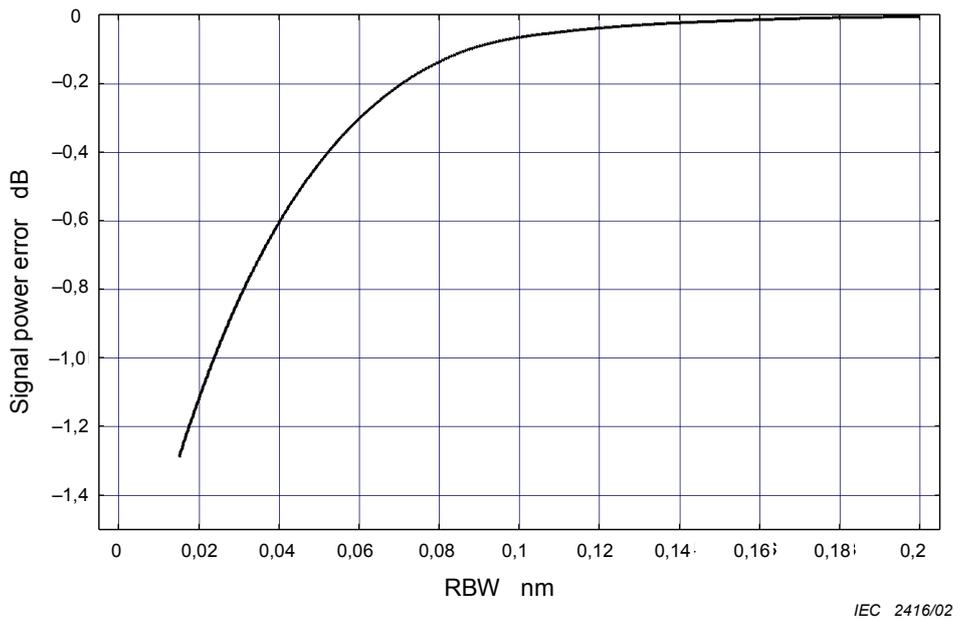


IEC 2414/02

**Figure A.2 – Spectrum of a 2,5 Gb/s 2<sup>7</sup> – 1 PRBS with 0,36 nm filtering with considerably less power outside the 0,1 nm OSA RBW**



**Figure A.3 – Signal power error versus RBW for a 10 Gb/s modulated signal**



**Figure A.4 – Signal power error versus RBW for a 2,5 Gb/s modulated signal**

To minimize the error in the signal power measurement, a resolution bandwidth of sufficient width should be chosen. Table A.2 shows the RBW values that cause less than 0,1 dB error.

**Table A.2 – RBW to achieve less than 0,1 dB error in signal power**

Modulation rate	10 Gb/s	2,5 Gb/s or lower
RBW	≥0,2 nm	≥0,09 nm

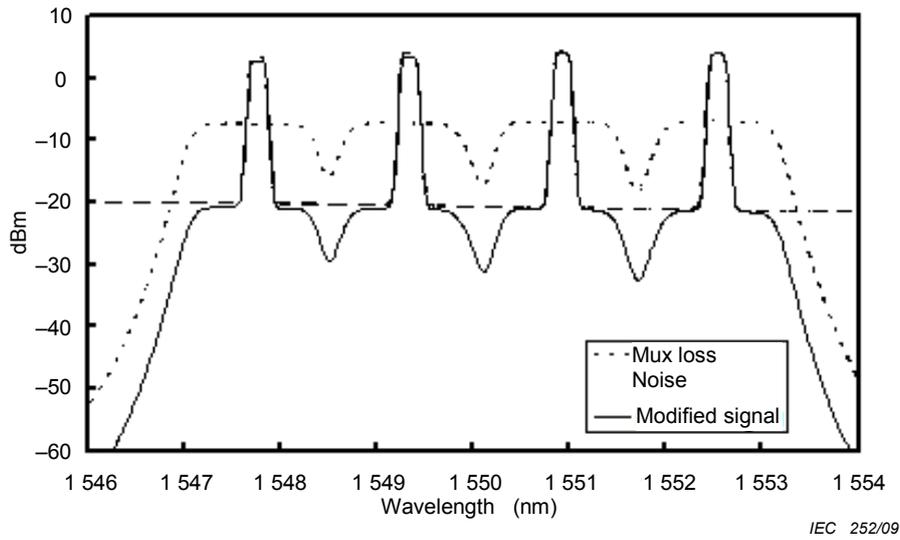
## **Annex B** (informative)

### **Error in measuring noise level due to signal spectral width and wavelength filtering**

The same signal spectral width discussed in Annex A can also influence the uncertainty of measuring the noise level. When significant power from the signals is present at the mid-point between the channels, then the OSA is unable to distinguish this from the noise power levels using measurements between the channels. This limitation becomes significant when combining higher modulation rates with close channel spacing, like 40 Gb/s signals on a 100 GHz grid. In this case, the noise must be measured with 0,4 nm of the signal, where the signal strength can be comparable to that at 0,1 nm from the 10 GHz signal, as discussed in 4.5.4. The optical filtering from multiplexing would however reduce this, similar to the signal shown in Figure A.1. The degree of this filtering will generally determine whether this OSNR method can measure such signals to the necessary uncertainty.

A second influence of advanced optical networks is the effect of using optical add-drop multiplexers (OADM) and other components that have strong wavelength dependence. Especially the use of reconfigurable OADMs (ROADM) results in channels being separated, and then recombining channels that have been transmitted along different spans. Especially the demultiplexing and “remultiplexing” of channels generally reduces the power level between channels. When this happens, the reduced part of the spectrum cannot be used to estimate the noise level at the signal wavelength. Other complications can also arise, such as adjacent channels originating from different spans with differing contributions to OSNR, so that measuring the noise power between the channels cannot be used for interpolation.

An example for this in Figure B.1 shows four amplified channels with 200 GHz spacing passed through a multiplexer that has the displayed combined loss curve. The resulting modified spectrum at the output shows how the noise between the channels has been filtered and can no longer be interpolated to provide the noise level at the signal wavelength. In this case, the unmodulated signals are narrower than the passbands, so by using sufficient resolution, noise plateaus are revealed that are not significantly filtered. When this can be done, OSNR measurements are possible by reducing the offset of the interpolation to measure the noise on these plateaus. However when narrower channels are used together with high modulation rates, good OSNR values will not be measurable.



**Figure B.1 – Example for noise filtering between channels for a 200 GHz grid**

The effects discussed in this annex can result in the method of this standard being inappropriate, independent of the instrumentation used. More complex methods such as the use of polarization extinction may then be considered for obtaining OSNR. However, when the time and equipment required to measure the OSNR of multiple channels is higher, the advantage of using spectral OSNR evaluation with respect to channel characterizations like RIN and eye diagrams may be reduced.

## Bibliography

- [1] ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers*
  - [2] ITU-T Recommendation G.697 (2004), *Optical monitoring for DWDM systems*
  - [3] ITU-T Supplement 39 to G-series Recommendations (2006): *Optical system design and engineering considerations.*
  - [4] ITU-T Recommendation G.694.1, *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency Grid*
  - [5] ISO/IEC MISC UNCERT: 1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*
-

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	24
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application .....	27
2 Références normatives.....	28
3 Définition.....	28
4 Appareil.....	29
4.1 Généralités.....	29
4.2 OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction.....	29
4.3 OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson .....	30
4.4 OSA réalisé à partir du Fabry-Perot.....	30
4.5 Exigences de performance OSA.....	31
4.5.1 Généralités.....	31
4.5.2 Plage de longueurs d'onde .....	31
4.5.3 Sensibilité .....	31
4.5.4 Largeur de bande de résolution (RBW).....	31
4.5.5 Précision de la largeur de bande de résolution .....	32
4.5.6 Plage dynamique.....	32
4.5.7 Fidélité d'échelle .....	33
4.5.8 Dépendance de la polarisation.....	33
4.5.9 Points de données de longueurs d'onde .....	33
5 Echantillonnage et éprouvettes.....	33
6 Procédure .....	33
7 Calculs .....	34
8 Incertitude de mesure.....	34
9 Documentation .....	34
Annexe A (informative) Erreur de mesure du niveau de signal du fait de la largeur spectrale du signal.....	36
Annexe B (informative) Erreur de mesure du niveau de bruit du fait de la largeur spectrale du signal et du filtrage de la longueur d'onde.....	40
Bibliographie.....	42
Figure 1 – Spectre optique type au niveau d'une interface optique dans un système de transmission multivoie .....	28
Figure 2 – OSNR de chaque voie , dérivé des mesures directes du spectre optique .....	29
Figure 3 – OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction .....	30
Figure 4 – OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson.....	30
Figure 5 – OSA réalisé à partir d'un Fabry-Perot.....	31
Figure 6 – Illustration de l'insuffisance de la plage dynamique comme autre source d'incertitude de mesure.....	33
Figure A.1 – Spectre de puissance d'un signal PRBS de 10 Gb/s, $2^7 - 1$ montrant une puissance considérable non capturée dans une RWB de 0,1 nm avec un filtrage de 0,64 nm après le signal.....	37
Figure A.2 – Spectre d'un PRBS de 2,5 Gb/s $2^7 - 1$ avec un filtrage de 0,36 nm avec beaucoup moins de puissance à l'extérieur de la RBW de l'OSA de 0,1 nm .....	37

Figure A.3 – Erreur de puissance du signal par rapport à la RBW pour un signal modulé de 10 Gb/s.....	38
Figure A.4 – Erreur de puissance de signal par rapport à la RBW pour un signal modulé de 2,5 Gb/s.....	38
Figure B.1 – Exemple de filtrage du bruit entre des voies pour une grille de 200 GHz.....	41
Tableau A.1 – Filtrage utilisé en simulation pour déterminer l'erreur du niveau de puissance du signal .....	36
Tableau A.2 – RBW afin d'obtenir une erreur de moins de 0,1 dB sur la puissance du signal.....	39

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

#### Partie 2-9: Systèmes numériques – Mesure du rapport signal sur bruit optique pour les systèmes multiplexés à répartition en longueur d'onde dense

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 publications CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

La Norme internationale CEI 61280-2-9 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.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2002 et constitue une révision technique. Les changements principaux par rapport à la première édition sont les suivants:

- Un paragraphe a été ajouté au Domaine d'application, décrivant les limites dues à la largeur spectrale du signal et au filtrage en longueur d'onde.
- L'Annexe B a été ajoutée, afin de mieux expliquer les erreurs survenant lors de la mesure du niveau de bruit dû à la largeur spectrale du signal et au filtrage en longueur d'onde.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/823/CDV	86C/864/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/CEI, Partie 2.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

## INTRODUCTION

Au niveau des interfaces optiques dans les réseaux multiplexés à répartition en longueur d'onde (WDM), il est souhaitable de mesurer les paramètres qui fournissent les informations sur l'intégrité de l'installation physique. De tels paramètres sont nécessaires pour *surveiller* la performance du réseau en tant que partie intégrante de la gestion de réseau. Ils sont également nécessaires pour assurer le fonctionnement approprié du système pour *l'installation et la maintenance* du réseau.

Idéalement, de tels paramètres correspondraient directement au taux d'erreur binaire (BER) de chaque voie d'un porteur multivoie au niveau d'une interface optique particulière. Des paramètres en relation tels que le facteur de qualité ou ceux calculés à partir de diagrammes en œil optiques fourniraient des informations similaires, c'est-à-dire qu'ils corréleraient aux taux d'erreur binaire (BER) de la voie. Cependant, il est difficile d'obtenir l'accès à ces paramètres à un point d'interface multivoie. Il est nécessaire de démultiplexer le nombre potentiellement grand de voies et d'effectuer les mesures du BER, du facteur de qualité ou du diagramme en œil sur une base par voie.

Par contraste, les informations utiles sur les propriétés optiques du porteur multivoie sont aisément obtenues en mesurant le spectre optique. Les niveaux de bruit et de signaux résolus par longueur d'onde fournissent les informations sur le niveau de signal, la longueur d'onde de signal, et l'émission spontanée amplifiée (ASE) pour chaque voie. Cependant, les informations spectrales ne présentent pas de dégradation de signaux du fait de déficiences de formes d'onde résultant de la dispersion en mode polarisation (PMD) et de la dispersion chromatique. De même, les interférences entre symboles et la gigue de temps ne sont pas révélées à partir d'une mesure du rapport signal sur bruit optique (OSNR). Malgré ces limitations, l'OSNR est indiqué comme un paramètre d'interface dans la Recommandation ITU-T G.692 [1] <sup>1</sup>), et comme un paramètre de surveillance optique dans les recommandations ITU-T G.697 [2] et ITU-T G Sup. 39 [3].

---

1) Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

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

### Partie 2-9: Systèmes numériques – Mesure du rapport signal sur bruit optique pour les systèmes multiplexés à répartition en longueur d'onde dense

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61280 fournit une définition de paramètres et une méthode d'essai pour obtenir un rapport signal sur bruit optique (OSNR) en utilisant un appareillage destiné à mesurer le spectre optique au niveau d'une interface multivoie. Du fait qu'une mesure de bruit est effectuée sur un analyseur de spectre optique, le bruit mesuré n'inclut pas le bruit à intensité relatif de la source (RIN) ou le bruit de récepteur.

Trois réalisations relatives aux analyseurs de spectre optique (OSA) sont en cours de discussion: un OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction, un OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson, et un OSA réalisé à partir d'un Fabry-Perot. Les caractéristiques de performance de l'OSA qui affectent la précision de mesures de l'OSNR sont fournies.

Un spectre optique type au niveau d'une interface multivoie est illustré à la Figure 1. Les caractéristiques importantes sont les suivantes.

- Les voies sont placées nominalement sur la grille définie par la Recommandation G.694.1 de l'UIT-T [4].
- Les voies individuelles peuvent être non existantes parce qu'il s'agit d'un réseau conçu avec des démultiplexeurs add/drop ou parce que des voies particulières sont hors-service.
- Tant la puissance de voie que la puissance de bruit sont fonction d'une longueur d'onde.

Pour calculer l'OSNR, la valeur de la puissance de bruit la plus appropriée est celle qui est au niveau de la longueur d'onde de voie. Cependant, avec une mesure spectrale directe, la puissance de bruit au niveau de la longueur d'onde de voie est incluse dans la puissance de signal et est difficile à extraire. Une estimation de la puissance de bruit des voies peut être effectuée en interpolant la valeur de la puissance de bruit entre les voies.

La précision concernant l'estimation de la puissance de bruit à la longueur d'onde du signal en interpolant la puissance de bruit à une longueur d'onde décalée peut être réduite de façon significative quand le spectre du signal s'étend jusqu'au creux entre signaux, et quand des composants tels que des multiplexeurs add/drop pendant le temps de la transmission modifient la forme spectrale du bruit. Ces effets sont débattus avec de plus amples détails dans l'Annexe B, et peuvent rendre la méthode de ce document inutilisable dans certains cas. Dans de tels cas, où le signal et le bruit ne peuvent pas être séparés spectralement de façon suffisante, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de séparation plus complexes, comme l'extinction de la polarisation ou l'extinction dans le domaine temporel, ou de déterminer la qualité du signal avec un paramètre différent, tel que le RIN. Ce dernier point est au-delà du domaine d'application du présent document.

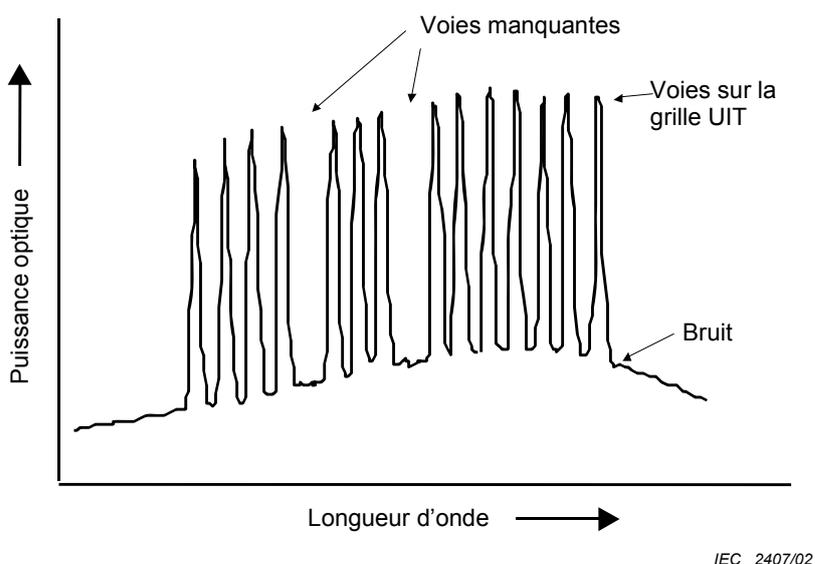


Figure 1 – Spectre optique type au niveau d'une interface optique dans un système de transmission multivoie

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. 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).

CEI 61290-3-1, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3-1: Paramètres du facteur de bruit – Méthode d'analyseur du spectre optique*

CEI 62129, *Etalonnage des analyseurs de spectre optique*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

### 3.1

#### rapport signal sur bruit optique

#### OSNR

rapport en décibels, à partir du spectre optique, défini par l'équation

$$\text{OSNR} = 10\text{Log} \frac{P_i}{N_i} + 10\text{Log} \frac{B_m}{B_r} \quad \text{dB}, \quad (1)$$

où

$P_i$  est la puissance du signal optique, en watts, au niveau de la  $i$ -ème voie,

$B_r$  est la largeur de bande optique de référence, et

$N_i$  est la valeur interpolée de la puissance de bruit, en watts, mesurée en largeur de bande de bruit équivalente,  $B_m$ , donnée par

$$N_i = \frac{N(\lambda_i - \Delta\lambda) + N(\lambda_i + \Delta\lambda)}{2} \quad (2)$$

au niveau de la  $i$ -ème voie, où

$\lambda_i$  est la longueur d'onde de la  $i$ -ème voie et

$\Delta\lambda$  est le décalage d'interpolation égal ou inférieur à la moitié de l'écartement de grille de l'UIT.

(Les unités pour  $B_m$  et  $B_r$  peuvent être en fréquence ou en longueur d'onde, mais il faut qu'elles soient cohérentes.) Généralement, la largeur de bande optique de référence est 0,1 nm. Se reporter à la Figure 2.

NOTE La largeur de bande équivalente de bruit d'un filtre est telle qu'elle passerait la même puissance de bruit totale qu'un filtre passe-bande rectangulaire qui possède la même aire que le filtre réel, et dont la hauteur est la même que la hauteur du filtre réel au niveau de sa longueur d'onde centrale.

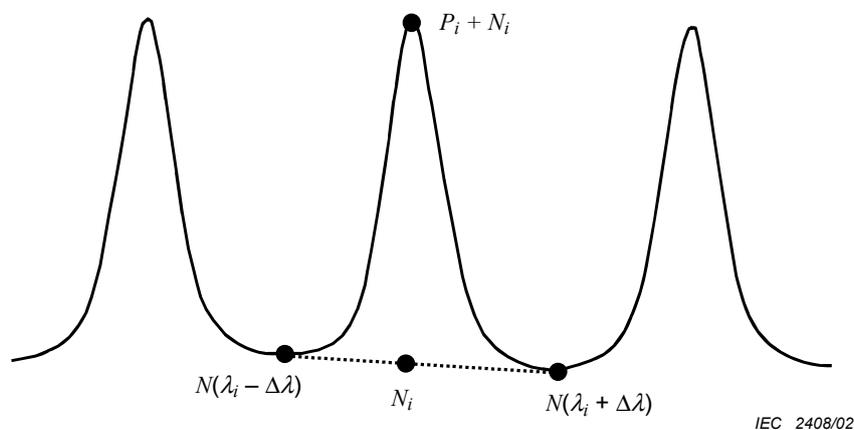


Figure 2 – OSNR de chaque voie, dérivé des mesures directes du spectre optique

## 4 Appareil

### 4.1 Généralités

L'appareil prescrit est un analyseur de spectre optique (OSA) doté de la performance nécessaire pour mesurer les puissances de signaux et de bruit requises par l'Équation (1). Les trois façons communes de mettre en application un OSA sont celles qui consistent à utiliser un réseau de diffraction, un interféromètre Michelson, et un étalon Fabry-Perot.

### 4.2 OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction

Un schéma simplifié d'un OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction est illustré à la Figure 3. La lumière en entrée expansée est incidente sur un réseau de diffraction rotatif. La lumière diffractée se produit à un angle proportionnel à la longueur d'onde et passe à travers une ouverture vers un photodétecteur. La taille des ouvertures d'entrée et de sortie et la taille du faisceau sur le réseau de diffraction déterminent la largeur spectrale du filtre résultant et, de ce fait, la résolution de l'OSA. Une conversion A/N et le traitement numérique fournissent l'affichage familier de l'OSA.

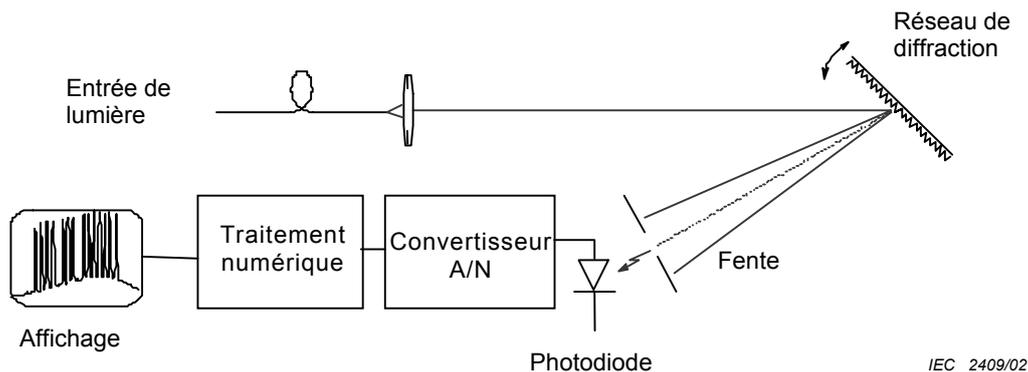


Figure 3 – OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction

#### 4.3 OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson

Un autre type d'OSA est réalisé à partir d'un interféromètre Michelson, comme l'illustre la Figure 4. Le signal d'entrée est divisé en deux chemins. Un chemin est fixe en longueur et l'autre est variable. L'interféromètre Michelson crée un motif d'interférence entre le signal et une version différée de celui-ci au niveau du photodétecteur. La forme d'onde résultante, désignée sous le nom d'interférogramme, est l'autocorrélation du signal d'entrée. Une transformée de Fourier réalisée sur l'autocorrélation fournit le spectre optique. La résolution de ce type d'OSA est réglée par le retard de chemin différentiel de l'interféromètre.

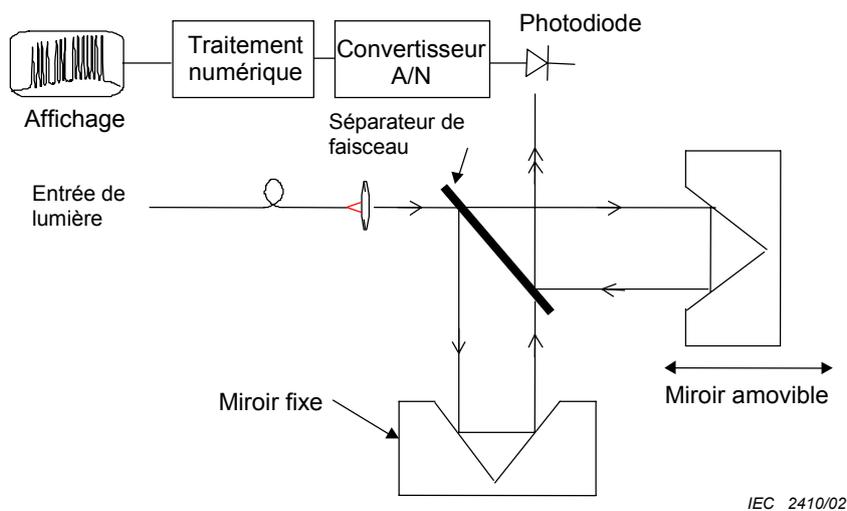
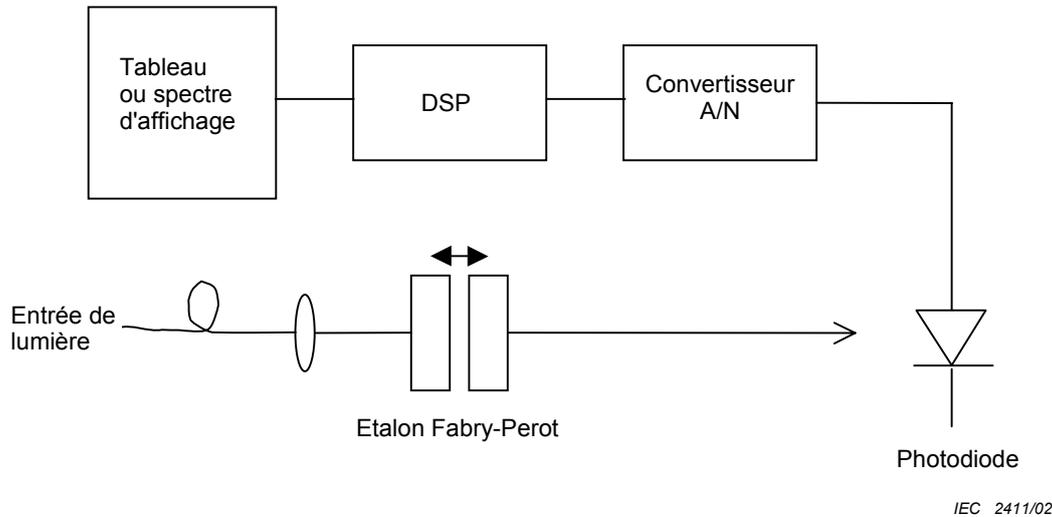


Figure 4 – OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson

#### 4.4 OSA réalisé à partir du Fabry-Perot

Un troisième type d'OSA est réalisé à partir d'un étalon Fabry-Perot comme l'illustre la Figure 5. Le faisceau collimaté passe à travers un étalon Fabry-Perot, dont la plage spectrale libre (FSR) est plus grande que le plan de disposition des voies, et la finesse est choisie pour donner la largeur de bande de résolution (RBW) requise. Les actionneurs piézoélectriques commandent l'espacement de miroirs de Fabry-Perot et fournissent un réglage spectral. Le traitement de signal numérique fournit toute combinaison d'affichage spectral ou de données sous forme de tableaux.



**Figure 5 – OSA réalisé à partir d'un Fabry-Perot**

## 4.5 Exigences de performance OSA

### 4.5.1 Généralités

Pour les détails relatifs à l'étalonnage, se référer à la CEI 62129.

### 4.5.2 Plage de longueurs d'onde

La plage de longueurs d'onde doit être suffisante pour couvrir le plan de disposition des voies plus la moitié d'un écartement de grilles à chaque extrémité de la bande pour mesurer le bruit de la voie la plus basse et celui de la voie la plus élevée.

### 4.5.3 Sensibilité

La sensibilité d'un OSA est définie comme le niveau le plus bas auquel la puissance spectrale peut être mesurée avec une précision spécifiée. Il faut que la sensibilité d'un OSA soit suffisante pour mesurer le niveau de bruit prévu le plus bas. En terme d'OSNR,

$$\text{Sensibilité exigée (dBm)} = \text{Niveau de voie minimal (dBm)} - \text{OSNR (dB)} \quad (3)$$

Par exemple, la sensibilité exigée pour un niveau de voie minimal de  $-10$  dBm afin de mesurer un OSNR de 35 dB est

$$-10 \text{ dBm} - 35 \text{ dB} = -45 \text{ dBm}$$

### 4.5.4 Largeur de bande de résolution (RBW)

La relation entre la puissance crête mesurée et la puissance totale du signal dépend des caractéristiques spectrales du signal et de la largeur de bande de résolution. Il faut que la largeur de bande de résolution soit suffisamment large pour mesurer précisément le niveau de puissance de chaque voie modulée. Le réglage approprié de la largeur de bande de résolution (RBW) dépend du débit binaire. Par exemple, la puissance du signal d'un laser modulé à un débit OC-192 (STM-64) à fluctuation de longueur d'onde zéro mesurera 0,8 dB de moins avec une largeur de bande de résolution de 0,1 nm qu'avec un RBW large. Cela résulte de l'enveloppe de modulation qui possède une portion de sa puissance spectrale à l'extérieur de la RBW de 0,1 nm. Si la RBW est diminuée pour se situer à 0,05 nm, la puissance de signal mesurera 2,5 dB plus bas. Cet effet est aggravé par la présence de fluctuation de longueur d'onde de laser et atténué par la limitation de la largeur de bande

additionnelle dans les circuits de modulation du laser émetteur. Ce sujet est traité de manière plus approfondie dans l'Annexe A.

Quand le signal s'étend spectralement à l'intérieur de la plage définie entre les canaux, comme c'est le cas dû à des taux de modulation élevés, la résolution doit être suffisamment étroite pour extraire la puissance du signal de la mesure du bruit, assez pour obtenir la précision désirée pour le niveau de bruit donné. A titre d'exemple du cas précédent, si les signaux OC-192 (STM-64) sont espacés de 0,2 nm les uns des autres (grille de 25 GHz), alors la puissance spectrale en dehors d'une mesure de signal RBW de 0,1 nm serait entièrement incluse dans une mesure de bruit avec RBW de 0,1 nm. Ces 17 % de puissance du signal résulteraient en un meilleur OSNR mesurable de seulement 7 dB environ. Ce point est également débattu à l'Annexe B.

#### 4.5.5 Précision de la largeur de bande de résolution

La précision de la mesure du bruit est directement affectée par la précision de la largeur de bande de résolution (RWB) de l'analyseur de spectre optique (OSA). Pour une meilleure précision, il faut que la *largeur de bande équivalente de bruit*,  $B_m$ , de l'OSA soit étalonnée. La RWB, en général, diffère de  $B_M$  du fait de la forme non rectangulaire de la caractéristique du filtre de l'analyseur de spectre optique. La procédure d'étalonnage de  $B_m$  est donnée dans la CEI 61290-3-1, où elle est référencée comme *largeur de bande optique*.

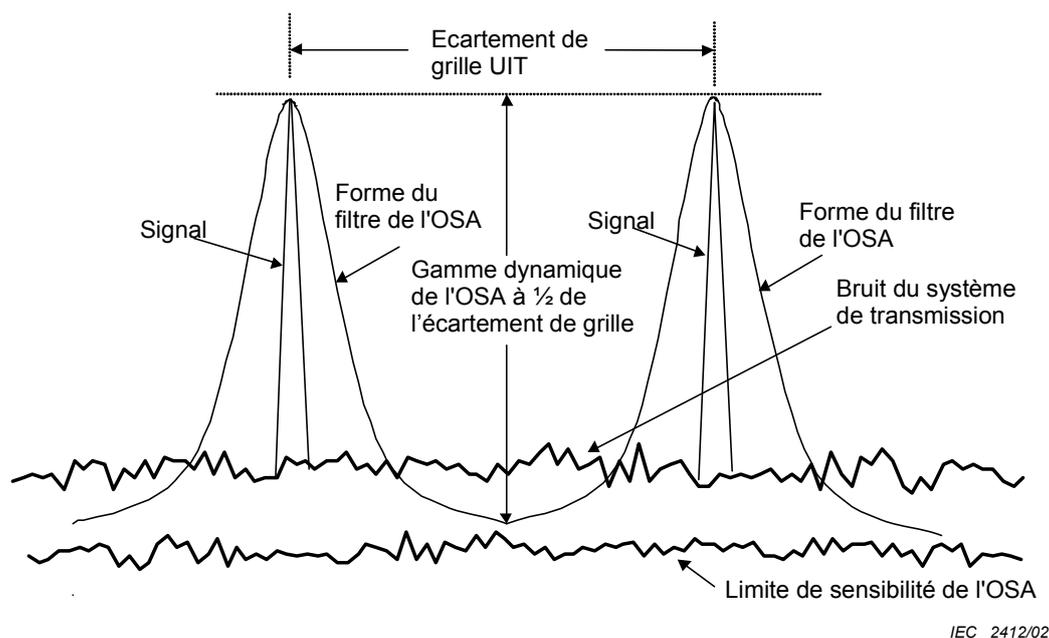
#### 4.5.6 Plage dynamique

La plage dynamique d'un OSA est une mesure de la capacité de l'OSA à effectuer des mesures de bruit et de signaux de niveau bas qui sont proches en longueur d'onde des grands signaux. Il importe de noter que le rétrécissement de la RBW ne corrèle pas nécessairement avec une plage dynamique meilleure. La RWB est une mesure de la largeur de bande à 3 dB ou de la largeur de bande équivalente de bruit de la caractéristique de son filtre. Par ailleurs, la plage dynamique est une mesure de la raideur de la caractéristique du filtre et du bruit de fond plancher de l'OSA. La plage dynamique est définie comme le rapport, en dB, de la caractéristique de transmission du filtre au niveau de la longueur d'onde centrale,  $\lambda_i$ , et à une distance d'un demi-espacement de grille  $\lambda_i \pm \Delta\lambda$ .

La Figure 6 montre deux voies d'un spectre multivoie, la caractéristique du filtre de l'OSA, la limite de sensibilité de l'OSA et le bruit du système de transmission qui doit être mesuré. Au niveau de la longueur d'onde de mesure du bruit, il faut que la plage dynamique soit largement plus élevée que l'OSNR pour des mesures précises. La contribution de l'incertitude peut être prédite à partir de l'équation suivante:

$$\text{Incertaince de l'OSNR} = 10 \log(1+10^{-D/10}) \text{ dB}, \quad (4)$$

où  $D$  est la valeur en dB selon laquelle la plage dynamique de l'OSA dépasse le rapport signal sur bruit optique (OSNR) réel. Par exemple, pour un OSNR de 30 dB, une plage dynamique de 40 dB (à ½ écartement de grille de l'UIT) provoquera une erreur de 0,42 dB.



**Figure 6 – Illustration de l'insuffisance de la plage dynamique comme autre source d'incertitude de mesure**

En général, tant la limite de sensibilité de l'OSA que la plage dynamique limite la valeur de l'OSNR qui peut être mesurée. Généralement, un OSA réalisé à partir d'un interféromètre Michelson sera limité par la limite de sa sensibilité et un OSA réalisé à partir d'un réseau de diffraction le sera par la plage dynamique.

#### 4.5.7 Fidélité d'échelle

La fidélité d'échelle, également désignée linéarité d'affichage, est l'erreur relative en amplitude qui se produit sur une plage de niveaux de puissance d'entrée. La fidélité d'échelle contribue directement à l'incertitude de mesure de l'OSNR.

#### 4.5.8 Dépendance de la polarisation

Généralement, le signal  $P_i$ , est hautement polarisé tandis que le bruit,  $N_i$ , n'est pas polarisé. La dépendance de l'OSA à la polarisation contribue directement à l'incertitude de mesure du signal.

#### 4.5.9 Points de données de longueurs d'onde

Le nombre minimal de points de données rassemblés par l'OSA doit être d'au moins deux fois la portée de longueur d'onde divisée par la largeur de bande équivalente de bruit.

## 5 Echantillonnage et éprouvettes

Le dispositif en essai (DUT) est un système ou réseau de transmission à fibres optiques multivoie. L'appareillage de mesure est raccordé au réseau à n'importe quel point par raccordement direct à la fibre optique ou par l'intermédiaire d'un port de surveillance à large bande. Des points de mesure situés juste après des composants sélectifs en longueur d'onde, tels que des multiplexeurs add-drop peuvent ne pas être appropriés à cause de l'effet de filtrage du bruit décrit dans l'Annexe B.

## 6 Procédure

a) Raccorder l'OSA à la fibre de transmission ou à un accès à moniteur.

- b) Choisir les valeurs RBW suffisamment larges pour mesurer précisément la puissance du signal et avec une plage dynamique suffisante pour mesurer le bruit à  $\pm\Delta\lambda$  à partir de la longueur d'onde de voie crête, où  $\Delta\lambda$  est la moitié de l'écartement de la grille de l'UIT, ou moins si cela donne une valeur d'OSNR plus précise en raison du filtrage du bruit. (Voir les annexes, le Tableau A.2 et le Paragraphe 4.5.6.)
- c) Régler la plage de longueurs d'onde pour accommoder toutes les voies à plus ou moins la moitié de l'écartement de la grille au-dessous de la voie la plus basse et au-dessus de la voie la plus élevée.
- d) Mesurer le niveau de puissance au niveau de la valeur crête du signal pour la  $i$ -ème des  $n$  voies. Cette valeur est  $P_i + N_i$  (se reporter à la Figure 2).
- e) Mesurer le bruit à  $\pm\Delta\lambda$  à partir de la longueur d'onde crête du signal. Utiliser une RBW étalonnée avec une largeur de bande équivalente de bruit,  $B_m$ . Les valeurs mesurées sont les valeurs  $N(\lambda_i - \Delta\lambda)$  et  $N(\lambda_i + \Delta\lambda)$ .
- f) Calculer la valeur interpolée du bruit au niveau de chaque longueur d'onde de chaque voie (Equation (2)):

$$N_i = \frac{N(\lambda_i - \Delta\lambda) + N(\lambda_i + \Delta\lambda)}{2} \tag{5}$$

- g) Calculer  $P_i$  en soustrayant  $N_i$  de la valeur obtenue à l'étape d).
- h) Répéter les étapes d) à g) pour toutes les  $n$  voies.

NOTE Cette procédure peut être effectuée avec deux réglages de RBW: l'un qui est suffisamment large pour mesurer la puissance totale du signal, le second doté d'une plage dynamique suffisante pour mesurer le bruit à  $\pm\Delta\lambda$  à partir des longueurs d'onde de voie crête.

## 7 Calculs

- Pour chacune des  $n$  voies, calculer la valeur interpolée de la puissance du bruit,  $N_i$ , en utilisant l'étape f) et  $P_i$  utilisant l'étape g) dans l'Article 6.
- Pour chacune des  $n$  voies, calculer l'OSNR à partir de l'Equation (1).

$$OSNR = 10 \text{ Log } \frac{P_i}{N_i} + 10 \text{ Log } \frac{B_m}{B_r} \tag{6}$$

## 8 Incertitude de mesure

Il convient de calculer l'incertitude de mesure en se fondant sur le "*Guide ISO/IEC pour l'expression de l'incertitude de mesure*" [5].

Les contributions intervenant sur l'incertitude qui doivent être prises en considération sont les suivantes:

- la puissance du signal modulé (4.5.4 et Annexe A);
- la largeur de bande de bruit de l'OSA (4.5.5);
- la plage dynamique de l'OSA (4.5.6);
- la fidélité d'échelle de l'OSA (4.5.7);
- la dépendance de l'OSA à la polarisation (4.5.8).

## 9 Documentation

Consigner les informations suivantes pour chaque essai:

- la date de l'essai
- le numéro de la présente norme

- l'identification du système de transmission soumis à l'essai et l'emplacement de l'essai
- la description de l'équipement utilisé
- les données de l'OSNR
- la largeur de bande équivalente de bruit de l'OSA,  $B_m$
- la largeur de bande de référence,  $B_r$
- la longueur d'onde de décalage pour la mesure du bruit,  $\Delta\lambda$ , et l'écartement de grille de l'UIT
- l'incertitude de mesure

## Annexe A (informative)

### Erreur de mesure du niveau de signal du fait de la largeur spectrale du signal

La largeur spectrale de chaque voie est élargie à partir de celle du laser CW en raison des causes suivantes:

- la fluctuation de la longueur d'onde du laser
- la modulation de l'intensité pour la transmission du signal
- la modulation pour supprimer la diffusion de Brouillon stimulée (SBS)
- la modulation de phase autonome (SPM)
- la modulation à phase croisée

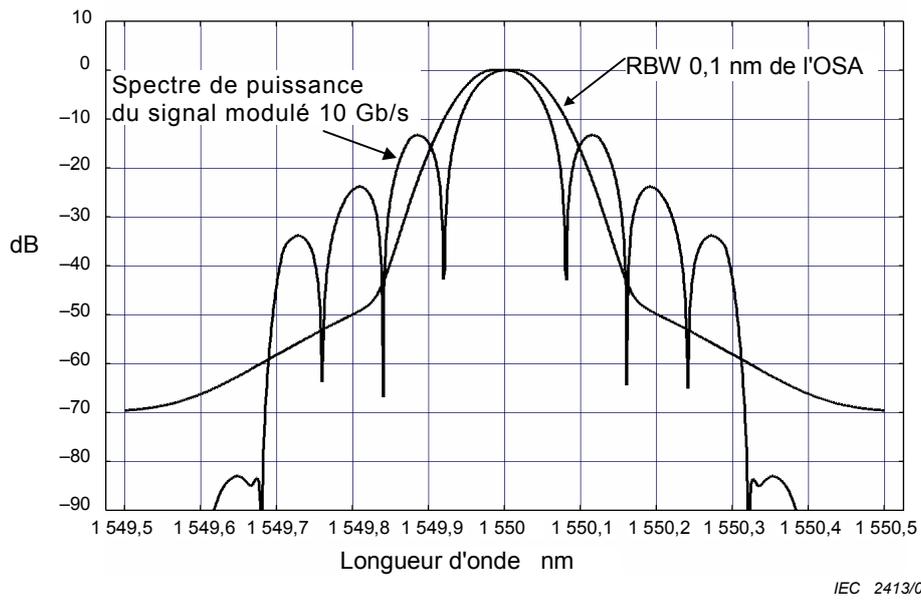
Pour les systèmes WDM denses dans lesquels la modulation externe est généralement utilisée, la fluctuation de la longueur d'onde du laser n'est pas un facteur. Les élargissements du fait de la suppression de SBS et de la SPM sont généralement petits comparés à l'élargissement du fait de la modulation du signal à 2,5 Gb/s, et à des débits supérieurs.

Les Figures A.1 et A.2 montrent les spectres calculés d'un laser à modulation d'intensité pour des débits en ligne de 10 Gb/s et 2,5 Gb/s, respectivement. La modulation est de type NRZ PRBS à longueur de mots de  $2^7-1$ . Les valeurs de filtrage optiques et électriques sont indiquées au Tableau A.1. Pour référence, une caractéristique de filtre d'OSA type pour une RWB de 0,1 nm est également présentée.

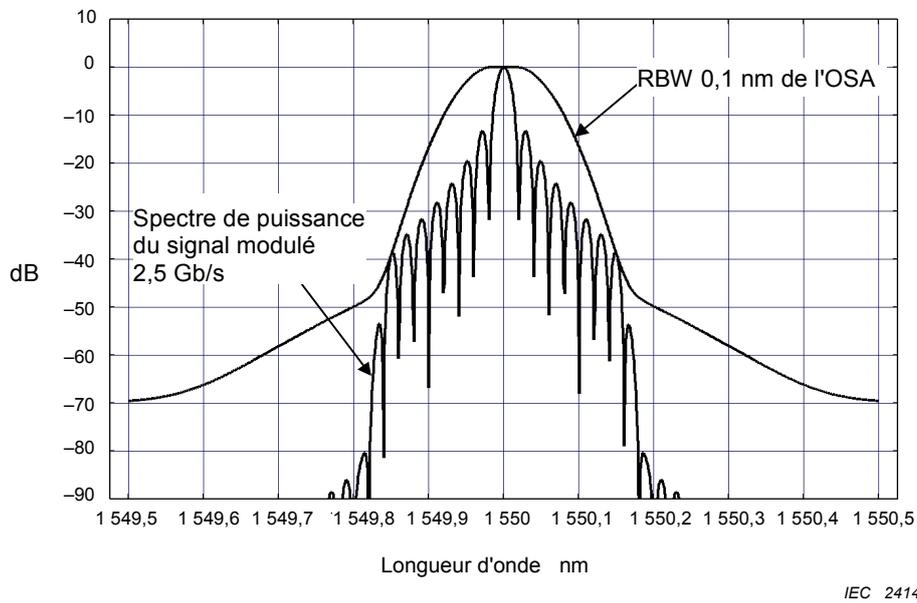
Du fait qu'une portion de la puissance du signal n'est pas capturée par l'OSA, il se produit une erreur sur la valeur de la puissance du signal. Les Figures A.3 et A.4 montrent l'amplitude de l'erreur pour des débits de 10 Gb/s et 2,5 Gb/s, respectivement.

**Tableau A.1 – Filtrage utilisé en simulation pour déterminer  
l'erreur du niveau de puissance du signal**

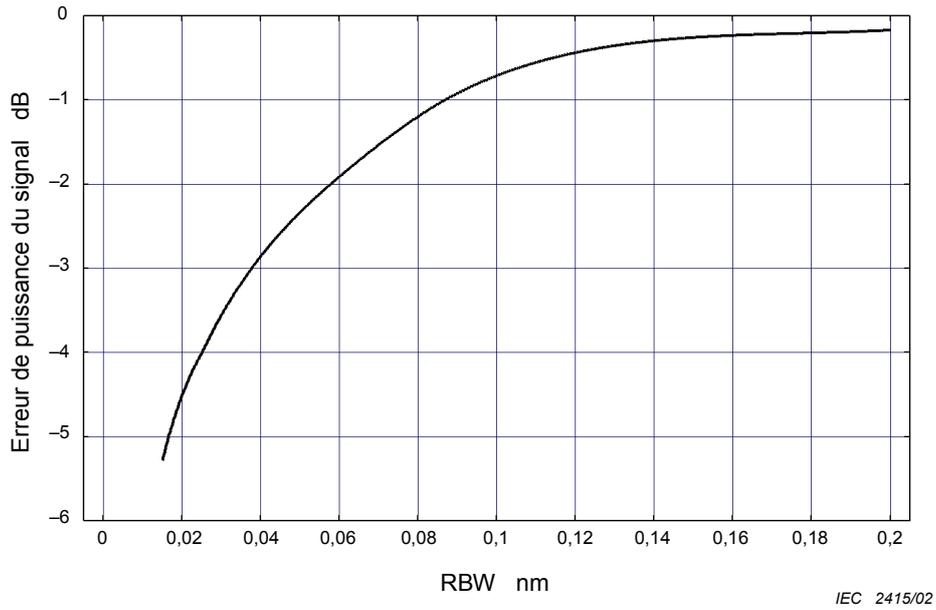
Débit	10 Gb/s	2,5 Gb/s
Largeur de bande du filtre électrique	30 GHz	7,5 GHz
Largeur de bande du filtre optique	0,64 nm	0,36 nm



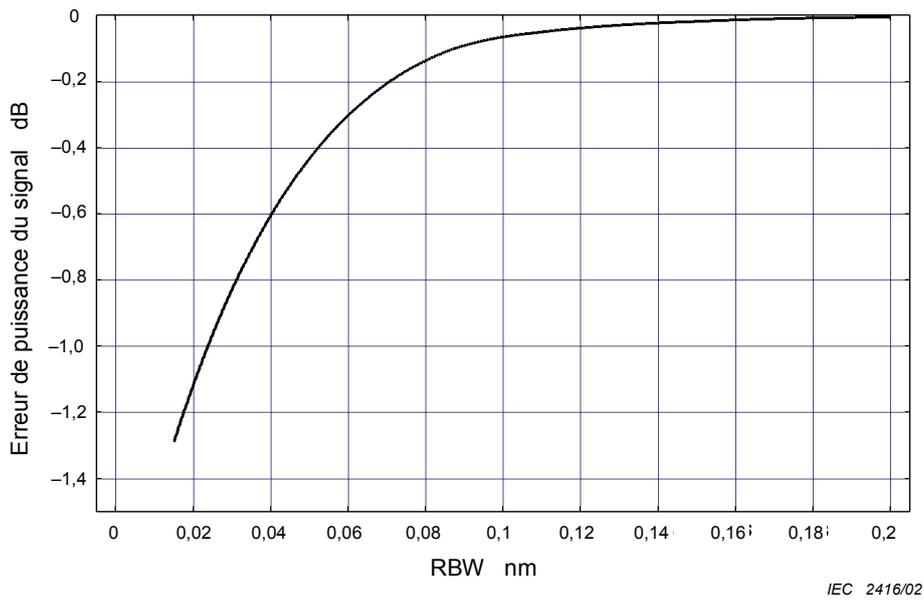
**Figure A.1 – Spectre de puissance d'un signal PRBS de 10 Gb/s,  $2^7 - 1$  montrant une puissance considérable non capturée dans une RBW de 0,1 nm avec un filtrage de 0,64 nm après le signal**



**Figure A.2 – Spectre d'un PRBS de 2,5 Gb/s  $2^7 - 1$  avec un filtrage de 0,36 nm avec beaucoup moins de puissance à l'extérieur de la RBW de l'OSA de 0,1 nm**



**Figure A.3 – Erreur de puissance du signal par rapport à la RBW pour un signal modulé de 10 Gb/s**



**Figure A.4 – Erreur de puissance de signal par rapport à la RBW pour un signal modulé de 2,5 Gb/s**

Pour minimiser l'erreur de la mesure de puissance du signal, il convient de choisir une largeur de bande de résolution de largeur suffisante. Le Tableau A.2 montre les valeurs de la RBW qui provoquent une erreur de moins de 0,1 dB.

**Tableau A.2 – RBW afin d'obtenir une erreur de moins de 0,1 dB sur la puissance du signal**

Débit	10 Gb/s	2,5 Gb/s ou inférieur
RBW	$\geq 0,2$ nm	$\geq 0,09$ nm

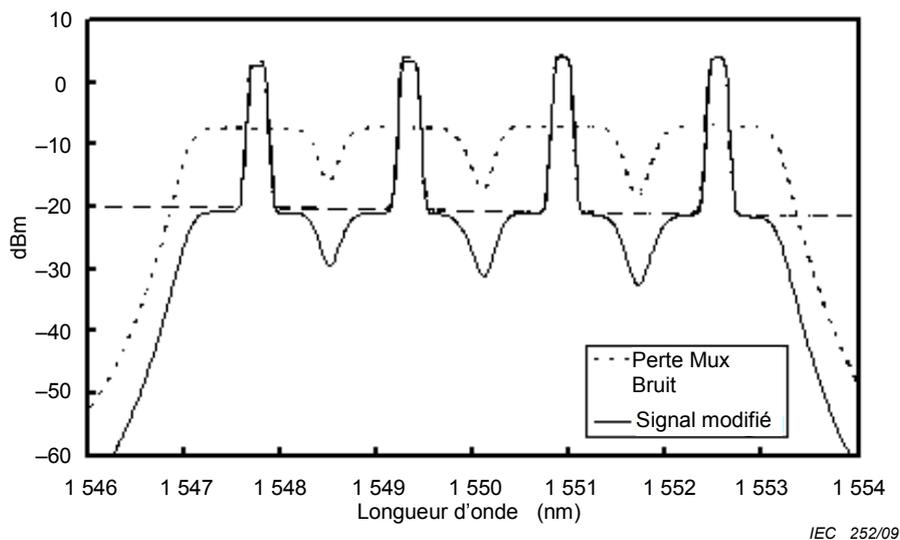
## **Annexe B** (informative)

### **Erreur de mesure du niveau de bruit du fait de la largeur spectrale du signal et du filtrage de la longueur d'onde**

La même largeur spectrale du signal déjà débattue dans l'Annexe A peut aussi influencer l'incertitude de mesure du niveau de bruit. Quand une puissance significative issue des signaux est présente au point milieu entre les voies, alors l'OSA est incapable d'en faire la distinction avec les niveaux de puissance de bruit lors des mesures entre les voies. Cette limitation devient significative lorsque sont mélangés de hauts débits et de faible espacement de canaux, du même style que les signaux à 40 Gb/s sur une grille à 100 GHz. Dans ce cas, il faut que le bruit soit mesuré à 0,4 nm du signal, là où la force du signal peut être comparable au 0,1 nm du signal 10 GHz, comme exprimé en 4.5.4. Le filtrage optique du multiplexeur réduit cependant cela, de façon similaire au signal illustré à la Figure A.1. Le degré de ce filtrage déterminera généralement si la présente méthode OSNR peut mesurer de tels signaux avec l'incertitude nécessaire.

Une seconde influence des réseaux optiques avancés est l'effet de l'utilisation de multiplexeurs add-drop optiques (OADM) et d'autres composants très dépendants de la longueur d'onde. En particulier l'utilisation d'OADM reconfigurables (ROADM) résulte en des des voies qui ont été séparées, puis recombinaées après avoir été transmises avec des durées différentes. En particulier le démultiplexage et le "remultiplexage" des voies réduit en général le niveau de puissance entre les voies. Quand c'est le cas, la part du spectre réduite ne peut pas être utilisée pour estimer le niveau de bruit à la longueur d'onde du signal. D'autres complications peuvent aussi survenir, telles que des voies adjacentes issues de durées de cheminement différentes offrant des contributions distinctes à l'OSNR, de sorte que mesurer la puissance de bruit entre les voies ne peut pas être utilisé en vue d'interpolation.

Un exemple de cela dans la Figure B.1 montre 4 voies amplifiées avec un espacement de 200 GHz passées à travers un multiplexeur qui possède la courbe de perte combinée figurée. Le spectre modifié résultant à la sortie montre comment le bruit entre les voies a été filtré, et ne peut plus être interpolé pour donner le niveau de bruit à la longueur d'onde du signal. Dans ce cas, les signaux non modulés sont plus étroits que les filtres passe-bande, donc, en utilisant une résolution suffisante, les plateaux de bruit se révèlent non significativement filtrés. Quand cela peut être fait, les mesures OSNR sont possibles en réduisant le décalage de l'interpolation pour mesurer le bruit sur ces plateaux. Cependant, quand des voies plus étroites sont utilisées conjointement avec un débit élevé, de bonnes valeurs d'OSNR ne seront pas mesurables.



**Figure B.1 – Exemple de filtrage du bruit entre des voies pour une grille de 200 GHz**

Les effets débattus dans cette annexe peuvent avoir comme résultat que la méthode décrite dans cette norme se révèle inappropriée, indépendamment de l'instrumentation utilisée. Des méthodes plus complexes, telles que l'usage de l'extinction de la polarisation, peuvent être prises en considération pour obtenir l'OSNR. Cependant, quand le temps et l'équipement requis pour mesurer l'OSNR de multiples voies est plus élevé, l'avantage du recours à une évaluation OSNR spectrale en relation avec les caractéristiques des voies, tels RIN et les diagrammes de l'œil, peut être réduit.

## Bibliographie

- [1] Recommandation ITU-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques*
  - [2] Recommandation ITU-T G.697 (2004), *Surveillance optique des systèmes de multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (DWDM)*
  - [3] Supplément ITU-T 39 à la série de Recommandations G (2006): *Considérations sur la conception et l'ingénierie de systèmes optiques*
  - [4] Recommandation ITU-T G.694.1, *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueur d'onde: grille dense DWDM*
  - [5] ISO/IEC MISC UNCERT: 1995, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*
-

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)