

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-11-2

Première édition
First edition
2005-03

**Amplificateurs optiques –
Méthodes d'essai –**

**Partie 11-2: Paramètre de dispersion
en mode de polarisation –
Méthode d'analyse par la sphère de Poincaré**

**Optical amplifiers –
Test methods –**

**Part 11-2: Polarization mode dispersion
parameter –
Poincaré sphere analysis method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61290-11-2:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61290-11-2

Première édition
First edition
2005-03

**Amplificateurs optiques –
Méthodes d'essai –**

**Partie 11-2: Paramètre de dispersion
en mode de polarisation –
Méthode d'analyse par la sphère de Poincaré**

**Optical amplifiers –
Test methods –**

**Part 11-2: Polarization mode dispersion
parameter –
Poincaré sphere analysis method**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application et objet	8
2 Références normatives	8
3 Termes abrégés	10
4 Appareillage	10
4.1 Généralités	10
4.2 Source de lumière	12
4.3 Générateur d'un état de polarisation	14
4.4 Analyseur	16
5 Procédure	18
6 Calculs	20
6.1 Calculs d'analyse par la sphère de Poincaré	20
6.2 Affichage du retard différentiel de groupe par rapport à la longueur d'onde	22
6.3 Retard différentiel moyen de groupe	22
6.4 Retard différentiel de groupe maximal	22
7 Résultats d'essai	22
Bibliographie	24

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-2:2005

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	9
3 Abbreviated terms	11
4 Apparatus.....	11
4.1 General.....	11
4.2 Light source	13
4.3 State of polarization generator	15
4.4 Analyser.....	17
5 Procedure	19
6 Calculations	21
6.1 Poincaré sphere analysis calculations	21
6.2 Display of differential group delay versus wavelength	23
6.3 Average differential group delay.....	23
6.4 Maximum differential group delay.....	23
7 Test results	23
Bibliography	25

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-2:2005

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 11-2: Paramètre de dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse par la sphère de Poincaré

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 de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et 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'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 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 de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61290-11-2 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86C/640/FDIS	86C/660/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –
TEST METHODS –****Part 11-2: Polarization mode dispersion parameter –
Poincaré sphere analysis method**

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 61290-11-2 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:

FDIS	Report on voting
86C/640/FDIS	86C/660/RVD

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

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

La CEI 61290-11 comprend les parties suivantes présentées sous le nouveau titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai*:

Partie 11-1: Dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse propre de matrice de Jones (JME)

Partie 11-2: Paramètre de dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse par la sphère de Poincaré

Les normes futures de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des normes existant déjà dans cette série sera mis à jour lors d'une prochaine édition.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-2:2005

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 61290-11 consists of the following parts under the new general title *Optical amplifiers – Test methods*:

Part 11-1: Polarization mode dispersion – Jones matrix eigenanalysis method (JME)

Part 11-2: Polarization mode dispersion parameter – Poincaré sphere analysis method

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61290-11-2:2005

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 11-2: Paramètre de dispersion en mode de polarisation – Méthode d'analyse par la sphère de Poincaré

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61290 s'applique à tous les amplificateurs optiques (AO) disponibles sur le marché, y compris les amplificateurs à fibres optiques (OFA) à fibres actives et les amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) qui utilisent un dispositif semi-conducteur pour le gain.

La dispersion en mode de polarisation (PMD) provoque l'extension d'une impulsion optique dans le domaine temporel. Cette dispersion pourrait affecter la performance d'un système de télécommunications. L'effet peut être lié à une différence dans la vitesse de groupe et des temps d'arrivée correspondants de différents composants de polarisation du signal. Pour une source à bande étroite, l'effet peut être lié à une variation du retard de groupe (DGD) entre les couples d'états principaux orthogonaux de polarisation (PSP).

Cette méthode d'essai décrit une procédure pour mesurer la PMD des AO. Le résultat de la mesure à deux longueurs d'onde voisines est obtenu à partir de la mesure des paramètres de Stokes normalisés. Le rapport technique CEI 61292-5 fournit le principe mathématique ainsi qu'un exemple de calcul de la méthode d'analyse par la sphère de Poincaré (PSA) pour calculer la PMD.

La méthode décrite ici s'est avérée être indépendante du gain dépendant de la polarisation (PDG) et des pertes de la polarisation (PDL) jusqu'à approximativement 1 dB [±].

Bien que la PSA soit en pratique applicable aux AO non pompés (autrement dit, non alimentés), la technique PSA de cette norme ne s'applique qu'aux AO pompés (autrement dit, alimentés).

NOTE Toutes les valeurs numériques suivies de (±) sont des valeurs suggérées pour lesquelles la mesure est assurée. D'autres valeurs peuvent être acceptables, mais il convient qu'elles soient vérifiées.

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 61292-5, *Optical amplifier – Part 5: Polarization mode dispersion parameter – General information* (en anglais seulement)

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 11-2: Polarization mode dispersion parameter – Poincaré sphere analysis method

1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to all commercially available optical amplifiers (OAs) including optical fibre amplifiers (OFAs) using active fibres and semiconductor optical amplifiers (SOAs) using semiconductor gain media.

Polarization mode dispersion (PMD) causes an optical pulse to spread in the time domain. This dispersion could impair the performance of a telecommunications system. The effect can be related to differential group velocity and corresponding arrival times of different polarization components of the signal. For a narrowband source, the effect can be related to a differential group delay (DGD) between pairs of orthogonally polarized principal states of polarization (PSP).

This test method describes a procedure for measuring the PMD of OAs. The measurement result is obtained from the measurement of the normalised Stokes parameters at two closely spaced wavelengths. The mathematical basis together with an example of calculation for the Poincaré sphere analysis (PSA) method to calculate PMD is provided in the technical report IEC 61292-5.

The method described herein has been shown to be immune to polarization-dependent gain (PDG) and polarization-dependent loss (PDL) up to approximately 1 dB [±].

Although the PSA, in practice, is applicable to unpumped (that is, unpowered) OAs, the PSA technique in this standard applies to pumped (that is, powered) OAs only.

NOTE All numerical values followed by (±) are suggested values for which the measurement is assured. Other values may be acceptable but should be verified.

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 61292-5, *Optical amplifiers – Part 5: Polarization mode dispersion parameter – General information*

3 Termes abrégés

ASE	émission spontanée amplifiée (<i>amplified spontaneous emission</i>)
DGD	retard différentiel de groupe (<i>differential group delay</i>)
DOP	degré de polarisation (<i>degree of polarization</i>)
DUT	dispositif (amplificateur optique) en essai (<i>device under test</i>)
FTSA	analyseur de spectre à transformée de Fourier (<i>Fourier transform spectrum analyser</i>)
JME	méthode d'analyse propre de matrice de Jones (<i>jones matrix eigenanalysis method</i>)
AO	amplificateur optique (<i>optical amplifier</i>)
OFA	amplificateur à fibres optiques (<i>optical fibre amplifier</i>)
OSA	analyseur de spectre optique (<i>optical spectrum analyser</i>)
PDG	gain dépendant de la polarisation (<i>polarization-dependent gain</i>)
PDL	perte dépendant de la polarisation (<i>polarization-dependent loss</i>)
PDV	vecteur de dispersion de polarisation (<i>polarization dispersion vector</i>)
PMD	dispersion en mode de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
POWA	amplificateur de guide d'onde optique plan (<i>planar optical waveguide amplifier</i>)
PSA	analyse par la sphère de Poincaré (<i>Poincaré sphere analysis</i>)
PSP	état principal de polarisation (<i>principal state of polarization</i>)
RBW	largeur de bande de résolution (<i>resolution bandwidth</i>)
RMS	valeur efficace (<i>root mean square</i>)
SOA	amplificateur optique à semi-conducteurs (<i>semiconductor optical amplifier</i>)
SOP	état de polarisation (<i>state of polarization</i>)

4 Appareillage

4.1 Généralités

La méthode d'essai décrite ici exige un signal polarisé à l'entrée de l'appareil de mesure de la polarisation. Bien que la source d'essai soit hautement polarisée, le degré de polarisation (DOP) à la sortie de l'AO peut être significativement réduit par l'émission spontanée amplifiée (ASE). Il convient que le DOP de la source soit d'au moins 25 % dans la largeur de la bande optique de mesure de l'état de polarisation (SOP). Cela revêt un intérêt particulier lorsqu'on utilise une source accordable à bande étroite sans filtre optique de poursuite passe-bande à la sortie de l'amplificateur, parce que la puissance totale de l'ASE à l'extérieur de l'amplificateur, par exemple le spectre de l'ASE intégré sur toutes les longueurs d'onde, affecte les photo détecteurs, quelle que soit la longueur d'onde choisie. Dans ce cas, des conditions de saturation adéquates doivent être assurées, afin que le DOP soit suffisamment élevé pour une mesure précise (voir la CEI 61292-5). L'exigence relative au DOP de la source présente moins d'intérêt si on utilise une source à large bande et une analyse spectrale (qui agit comme un filtre à bande étroite centré autour de la longueur d'onde choisie), ou une source accordable à bande étroite avec un filtre de poursuite passe-bande à bande étroite à la sortie de l'amplificateur. Dans ce cas, pour une gamme plus large de conditions de saturation, la puissance de l'ASE, dans la largeur de bande de la résolution (RBW) de l'analyse spectrale, ou dans la largeur de bande du filtre de sortie, reste faible en ce qui concerne la puissance du signal.

3 Abbreviated terms

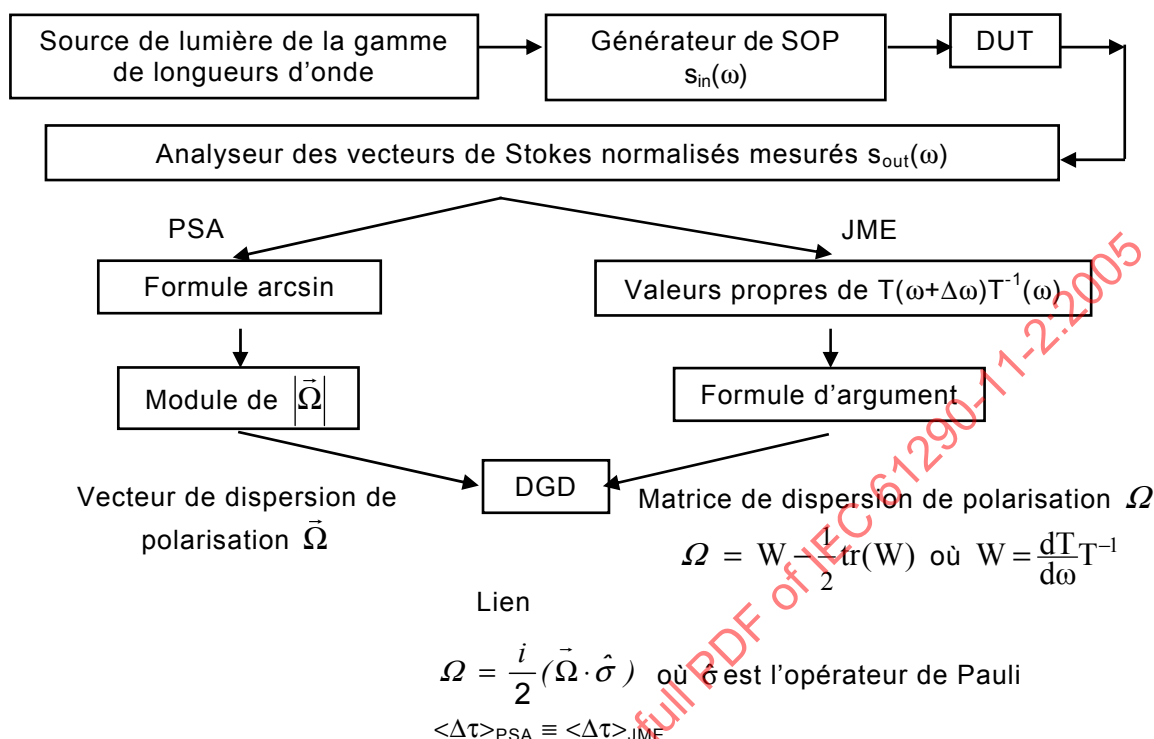
ASE	amplified spontaneous emission
DGD	differential group delay
DOP	degree of polarization
DUT	device (optical amplifier) under test
FTSA	Fourier transform spectrum analyser
JME	Jones matrix eigenanalysis method
OA	optical amplifier
OFA	optical fibre amplifier
OSA	optical spectrum analyser
PDG	polarization-dependent gain
PDL	polarization-dependent loss
PDV	polarization dispersion vector
PMD	polarization mode dispersion
POWA	planar optical waveguide amplifier
PSA	Poincaré sphere analysis
PSP	principal state of polarization
RBW	resolution bandwidth
RMS	root mean square
SOA	semiconductor optical amplifier
SOP	state of polarization

4 Apparatus

4.1 General

The test method described herein requires a polarized signal at the input of the polarimeter. Although the test source is highly polarized, the degree of polarization (DOP) at the output of the OA can be significantly reduced by the amplified spontaneous emission (ASE). The source DOP should be at least 25 % within the optical bandwidth of the state of polarization (SOP) measurement. This is of particular concern when using a tuneable narrowband source without a tracking optical band-pass filter at the amplifier output, because the total ASE power out of the amplifier, i.e. the ASE spectrum integrated over all wavelengths, impinges on the photodetectors whatever the selected wavelength. In this case, proper saturation conditions must be ensured in order for the DOP to be high enough for accurate measurement (see IEC 61292-5). The source DOP requirement is less of a concern when using a broadband source and spectral analysis (which acts as a narrowband filter centred about the selected wavelength), or a tuneable narrowband source with a tracking narrowband band-pass filter at the output of the amplifier. In this case the ASE power, within the resolution bandwidth (RBW) of the spectral analysis, or output-filter bandwidth, remains low with respect to signal power for a broader range of saturation conditions.

La Figure 1 ci-dessous représente un schéma des composants principaux d'un système de mesure type.



IEC 366/05

Figure 1 – Schéma de matériel (type)

4.2 Source de lumière

Dans tous les cas, une source de lumière polarisée sur la gamme des longueurs d'onde doit être utilisée. La gamme des longueurs d'onde doit au moins couvrir le spectre de gain de l'AO.

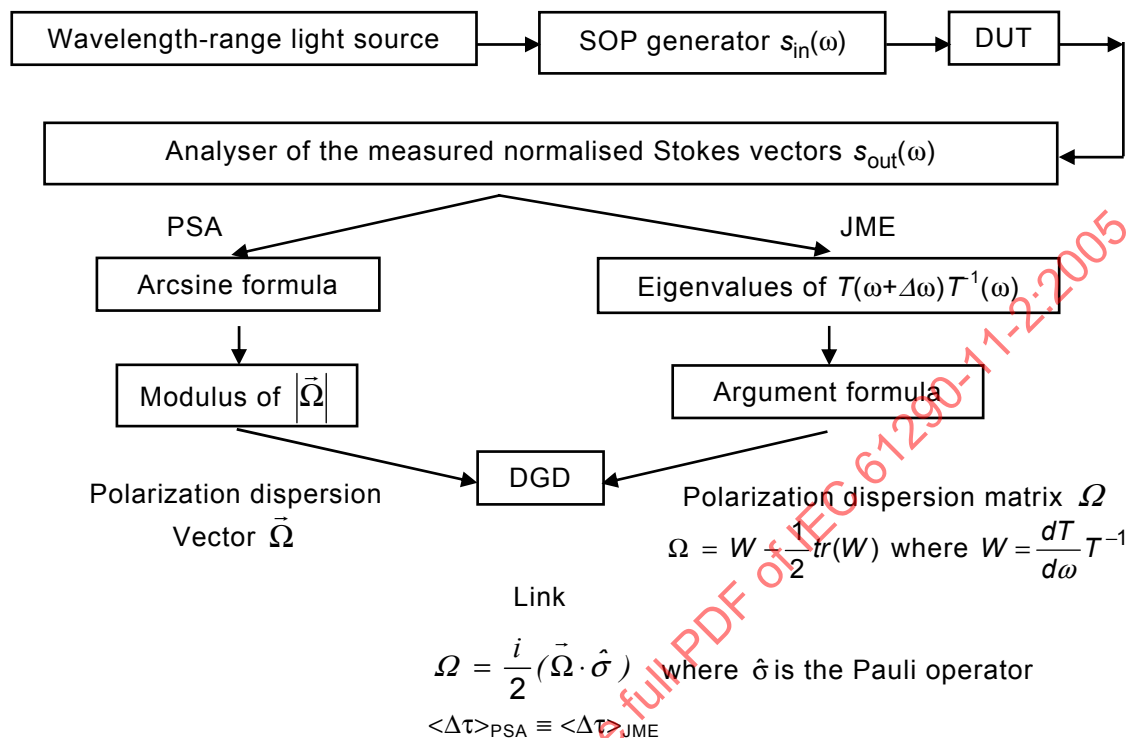
Deux types de sources de lumière peuvent être utilisés en fonction du type d'analyseur utilisé. Par exemple, une source à bande étroite peut être utilisée avec un analyseur polarimétrique à large bande, de même qu'une source à large bande peut être utilisée avec un analyseur à filtrage étroit des longueurs d'onde passe-bande.

4.2.1 Source à bande étroite

La source à bande étroite doit être accordable dans la gamme prévue des longueurs d'onde de mesure. La répartition spectrale de la source doit être suffisamment étroite, de sorte que la lumière provenant du DUT reste polarisée dans toutes les conditions de mesure. Cependant, dans tous les cas, la largeur de raie de la source et le pas en longueur d'onde doivent être sélectionnés avec soin, afin de respecter le théorème d'échantillonnage de Nyquist.

Dans les cas où les réflexions provoquant une interférence des chemins multiples ne peuvent pas être évitées, la largeur de raie de la source ne doit pas être trop étroite afin d'éviter les effets d'interférence de cohérence. Les techniques de contrôle de cohérence passives et actives sont disponibles. Voir la CEI 61292-5 pour plus de précisions sur les interférences des chemins multiples et les effets d'interférence de cohérence.

See Figure 1 for a schematic diagram of the key components in a typical measurement system.



IEC 366/05

Figure 1 – Schematic diagram of equipment (typical)

4.2 Light source

In all cases a polarized wavelength-range light source shall be used. The wavelength range shall at least cover the OA gain spectrum.

Two kinds of light source may be used depending on the type of analyser used. For instance, a narrowband source can be used with a polarimetric broadband analyser while a broadband source can be used with a narrow band-pass wavelength filtering analyser.

4.2.1 Narrowband source

The narrowband source shall be tuneable across the intended measurement wavelength range. The spectral distribution of the source shall be narrow enough so that light emerging from the DUT remains polarized under all conditions of the measurement. However, in all cases, the source linewidth and the wavelength step shall be carefully selected in order to respect the Nyquist sampling theorem.

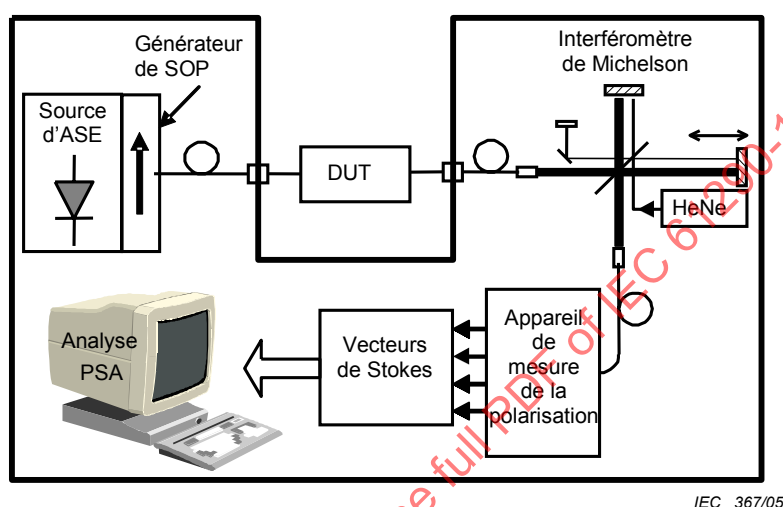
In cases where reflections causing multiple path interference cannot be avoided, the source linewidth must not be too narrow in order to avoid coherence interference effects. Passive and active coherence control techniques are available. See IEC 61292-5 for more details on multiple path interferences and coherence interference effects.

4.2.2 Source à large bande

La source peut être une source d'ASE dont la répartition spectrale correspond à celle du DUT.

Dans tous les cas, la largeur effective de raie de l'analyseur de filtrage (RBW) et le pas en longueur d'onde doivent être sélectionnés avec soin, afin de respecter le théorème d'échantillonnage de Nyquist.

La Figure 2 fournit un exemple de mise en œuvre expérimentale utilisant une source à large bande, telle qu'une source d'ASE.

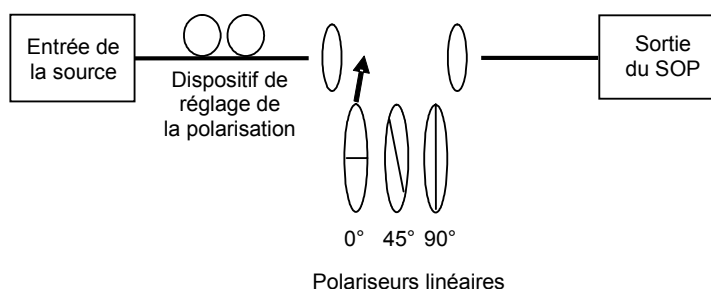


IEC 367/05

Figure 2 – Mise en œuvre expérimentale de la méthode PSA avec la source d'ASE

4.3 Générateur d'un état de polarisation

Un générateur de SOP est utilisé pour générer les vecteurs de Stokes à l'entrée $s_{in}(\omega)$. Le générateur de SOP est composé d'un dispositif de réglage de la polarisation, d'un jeu de polariseurs linéaires et du système optique adapté. La Figure 3 illustre un générateur de SOP possible.



IEC 368/05

Figure 3 – Exemple de générateur de SOP

4.2.2 Broadband source

The source can be an ASE source whose spectral distribution matches the DUT one.

In all cases, the filtering analyser effective linewidth (RBW) and the wavelength step shall be carefully selected in order to respect the Nyquist sampling theorem.

Figure 2 provides an example of an experimental implementation using a broadband source, such as an ASE source.

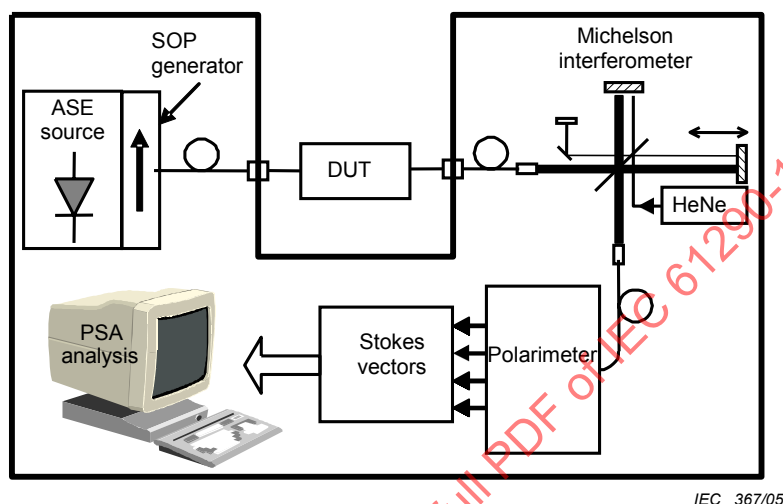


Figure 2 – Experimental implementation of the PSA method with ASE source

4.3 State of polarization generator

A SOP generator is used for generating the input Stokes vectors $s_{in}(\omega)$. The SOP generator is composed of a polarization adjuster, a set of linear polarizers and suitable optics. Figure 3 illustrates a possible SOP generator.

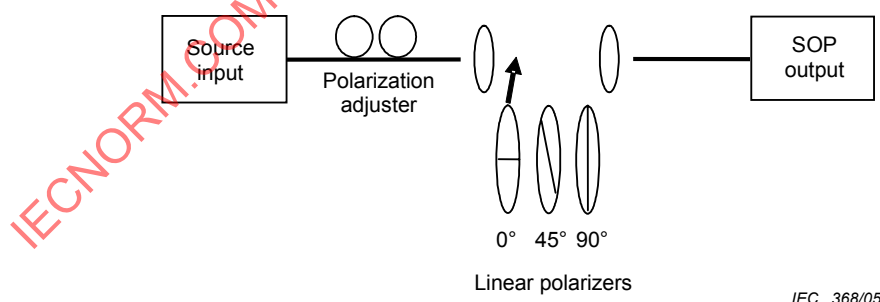


Figure 3 – Example of SOP generator

4.3.1 Dispositif de réglage de la polarisation et polariseurs linéaires

Si la source est polarisée, le dispositif de réglage de la polarisation suit la source de lumière et est réglé pour fournir aux polariseurs la lumière polarisée circulairement, de sorte que les polariseurs ne croisent jamais la polarisation avec la lumière d'entrée. Si la source est non polarisée, ceci n'est pas nécessaire.

Pour la source polarisée, régler la polarisation comme suit. S'assurer que la gamme de longueurs d'onde de la source de lumière est réglée sur le centre de la gamme à mesurer. Insérer chacun des trois polariseurs dans le faisceau et réaliser les trois mesures de puissance correspondantes à la sortie du polariseur. Régler la polarisation de la source par le dispositif de réglage de la polarisation, de telle sorte que les trois puissances soient approximativement dans une gamme de 3 dB l'une par rapport à l'autre. Dans la configuration avec un faisceau ouvert, une lame peut réaliser le réglage de la polarisation.

En plus du dispositif de réglage de la polarisation, trois polariseurs linéaires sont disposés pour être insérés dans le faisceau de lumière chacun à leur tour. Il n'est pas nécessaire que leurs angles relatifs réels soient connus, mais il est nécessaire qu'ils soient distincts les uns des autres. Il convient cependant qu'ils fournissent un échantillonnage suffisant des trois composants orientés, afin de déterminer avec précision ces composants.

4.3.2 Optiques d'entrée

Un système de lentilles optiques ou une fibre amorce monomodale peut être employé pour exciter le DUT.

Si des fibres amorceuses sont utilisées, il convient d'éviter les effets d'interférence par réflexions. Ceci peut nécessiter des matériaux adaptateurs d'indice. Les fibres amorceuses doivent être monomodales.

Si un système de lentilles optiques est utilisé, certains moyens adaptés, tels qu'un plateau à succion, doivent être utilisés pour fournir un support très stable à l'extrémité d'entrée du DUT.

4.4 Analyseur

Deux types d'analyseurs peuvent être utilisés en fonction du type de source utilisée. Par exemple, un analyseur de la polarisation à large bande peut être utilisé avec une source à bande étroite, de même qu'un analyseur de filtrage de longueur d'onde passe-bande étroite peut être utilisé avec une source à large bande. L'analyseur de filtrage étroit de longueur d'onde passe-bande peut être:

- un filtre optique, ou
- un analyseur de spectre optique (OSA), ou
- un interféromètre utilisé comme un analyseur de spectre à transformée de Fourier (FTSA).

Le filtrage optique équivalent doit être suffisamment étroit, de sorte que la lumière provenant du DUT reste polarisée dans toutes les conditions de mesure.

Toute la puissance émise provenant du DUT doit être couplée vers l'analyseur utilisé pour la mesure des vecteurs de Stokes normalisés à la sortie du DUT. Un système de lentilles optiques ou une épissure aboutée à une fibre amorce monomodale sont des exemples de moyens qui peuvent être utilisés.

La gamme de longueurs d'onde de l'analyseur doit au moins inclure les longueurs d'onde émises par la source de lumière et couvrir le spectre de gain de l'AO.

4.3.1 Polarization adjuster and linear polarizers

If the source is polarized, the polarization adjuster follows the light source and is set to provide roughly circularly polarized light to the polarizers, so that the polarizers never cross polarization with the input light. If the source is unpolarized, this is not necessary.

For the polarized source, adjust the polarization as follows. Make sure that the light source wavelength range is set to the centre of the range to be measured. Insert each of the three polarizers into the beam and perform three corresponding power measurements at the output of the polarizer. Adjust the source polarization via the polarization adjuster such that the three powers fall within approximately a 3-dB range of one another. In an open beam version of the set-up, a waveplate may perform the polarization adjustment.

In addition to the polarization adjuster, three linear polarizers are arranged for insertion into the light beam in turn. Their actual relative angles do not need to be known but need to be distinct from each other. However they should provide sufficient sampling of the three such oriented components for accurate determination of these components.

4.3.2 Input optics

An optical lens system or single-mode fibre pigtail may be employed to excite the DUT.

If pigtails are used, interference effects due to reflections should be avoided. This may require index matching materials. The pigtails shall be single-mode.

If an optical lens system is used, some suitable means, such as a vacuum chuck, shall be used to provide a highly stable support to the input end of the DUT.

4.4 Analyser

Two kinds of analysers may be used depending on the type of source used. For instance, a polarimetric broadband analyser can be used with a narrowband source while a narrow band-pass wavelength filtering analyser can be used with a broadband source. The narrow band-pass wavelength filtering analyser may be:

- an optical filter,
- an optical spectrum analyser (OSA), or
- an interferometer used as a Fourier transform spectrum analyser (FTSA).

The equivalent optical filtering shall be narrow enough so that light emerging from the DUT remains polarized under all conditions of the measurement.

All the power emitted from the DUT shall be coupled to the analyser used for the measurement of the normalised Stokes vectors at the output of the DUT. An optical lens system or a butt splice to a single-mode fibre pigtail is an example of means that may be used.

The wavelength range of the analyser shall at least include the wavelengths produced by the light source and cover the OA gain spectrum.

5 Procédure

- a) Coupler la source de lumière par le générateur de SOP (dispositif de réglage de la polarisation aux polariseurs).
- b) Coupler la sortie du générateur de SOP (polariseurs) à l'entrée du DUT.
- c) Coupler la sortie du DUT à l'entrée de l'analyseur.
- d) Choisir la gamme de longueurs d'onde sur laquelle les paramètres de Stokes doivent être mesurés.
- e) Régler le pas en longueur d'onde $\Delta\lambda$ (ou le pas en fréquence $\Delta\nu$) de la source de lumière accordable ou de l'analyseur (utilisé avec la source à large bande) comme suit:
 - 1) fixer une limite supérieure à la valeur de PMD qu'il convient de prévoir sur la largeur de bande de gain de l'AO et choisir une valeur égale à 3 fois cette limite supérieure de PMD. A titre d'exemple, si on choisit la limite supérieure de PMD à 1 ps, il convient de choisir une valeur de 3 ps;
 - 2) calculer l'intervalle de temps d'échantillonnage minimal en appliquant le théorème de Nyquist, c'est-à-dire: régler l'intervalle de temps d'échantillonnage minimal, de telle sorte qu'il soit égal à au moins 2 fois la limite supérieure de PMD (en d'autres termes, il convient que l'intervalle de temps d'échantillonnage minimal soit égal à au moins 6 fois la limite supérieure de PMD. Si l'on considère l'exemple précédent, l'intervalle de temps d'échantillonnage minimal serait réglé à 18 ps; et
 - 3) calculer le pas maximal de mesure en fréquence $\Delta\nu$ (en Hz) à partir de l'inverse de l'intervalle de temps d'échantillonnage minimal. Dans l'exemple précédent, un $\Delta\nu = 1/(18 \text{ ps}) = 55,6 \text{ GHz}$ ou dans le domaine de longueur d'onde, un pas en longueur d'onde $\Delta\lambda = \lambda^2 \Delta\nu / c \sim 450 \text{ pm}$ centré autour de 1 550 nm. Lorsqu'on utilise ce pas en fréquence ou ce pas en longueur d'onde, le spectre original de DGD de l'AO peut être reconstruit avec exactitude et la PMD peut être déterminée avec précision.
- f) Toute mesure étant bruyante (avec une largeur de bande infinie et avec une diminution du rapport signal à bruit), considérer le bruit de filtrage comme suit.
 - 1) En utilisant un analyseur de spectre à transformée de Fourier:
 - le filtrage est implicite avec cette technique. Le spectre (interférogramme) d'impulsion (temporel) est directement mesuré et la seule exigence est d'éliminer à partir de l'interférogramme tout ce qui est plus long que le temps de cohérence du spectre. Cela est réalisé en quatre étapes:
 - mesurer l'interférogramme ou la transformée de Fourier du signal;
 - identifier le point où le spectre d'impulsion est masqué par le bruit: ce point correspond au temps de cohérence maximal;
 - éliminer tout signal plus long que ce temps de cohérence maximal; et
 appliquer la transformée de Fourier au nouveau spectre afin de ramener le spectre filtré échantillonné à la fréquence d'échantillonnage optimale (en respectant le théorème de Nyquist).
 - 2) En utilisant un analyseur de spectre optique:
 - la mesure sera la convolution de la forme du filtre d'OSA avec le spectre à mesurer. En d'autres termes, le spectre d'impulsion de l'OSA sera multiplié par le spectre d'impulsion du DUT;
 - par exemple, un OSA avec une forme de filtre gaussien de 10 GHz (80 pm) à -3 dB (RBW), a un temps de cohérence maximal de 250 ps. L'intervalle de temps d'échantillonnage sera par conséquent de 500 ps afin de respecter le théorème de Nyquist. Le pas en fréquence devra alors être inférieur ou égal à 1/500 ps ou 2 GHz (16 pm). Cette étape serait généralement réalisable par un OSA disponible sur le marché;
 - dans un système de mesure à balayage, un filtre électronique peut être utilisé pour élargir la largeur de bande (RBW), c'est-à-dire un temps de cohérence plus petit, et peut par conséquent permettre un pas en fréquence plus grand.

5 Procedure

- a) Couple the light source through the SOP generator (polarization adjuster to the polarizers).
- b) Couple the output of the SOP generator (polarizers) to the input of the DUT.
- c) Couple the output of the DUT to the input of the analyser.
- d) Select the wavelength range over which the Stokes parameters are to be measured.
- e) Set the wavelength step $\Delta\lambda$ (or frequency step $\Delta\nu$) of the tuneable light source or the analyser (used with the broadband source) as follows:
 - 1) set an upper limit to the PMD value that should be expected over the OA gain bandwidth and take a value equal to 3 times this PMD upper limit. As an example, if the PMD upper limit should be set to 1 ps, thus a value of 3 ps should be taken;
 - 2) calculate the minimum sampling time interval by applying the Nyquist theorem, that is: set the minimum sampling time interval to be equal to at least 2 times the PMD upper limit (in other words the minimum sampling time interval should be equal to at least 6 times the PMD upper limit. Considering the previous example, the minimum sampling time interval would be set to 18 ps; and
 - 3) calculate the maximum measurement frequency step $\Delta\nu$ (in Hz) from the inverse of the minimum sampling time interval. In the previous example, a $\Delta\nu = 1/(18 \text{ ps}) = 55,6 \text{ GHz}$ or in the wavelength domain, a wavelength step $\Delta\lambda = \lambda^2 \Delta\nu / c \sim 450 \text{ pm}$ centred around 1 550 nm. When this frequency or wavelength step is used, the original expected OA DGD spectrum can be accurately reconstructed and PMD can be accurately determined.
- f) As any measurement is noisy (with an infinite bandwidth and with a decrease of the signal to noise ratio), consider filtering noise as follows.
 - 1) When using a Fourier transform spectrum analyser:
 - filtering is implicit with this technique. The impulse (time) spectrum (interferogram) is directly measured and the only requirement is to eliminate from the interferogram everything that is longer than the coherence time of the spectrum. This is done in four steps:
 - measure the interferogram or Fourier transform of the signal;
 - identify the point where the impulse spectrum is buried into the noise: this point corresponds to the maximum coherence time;
 - remove any signal longer than this maximum coherence time; and
 - Fourier transform the new spectrum to return the filtered frequency spectrum sampled at the optimum sampling frequency (respecting the Nyquist theorem).
 - 2) When using an optical spectrum analyser:
 - the measurement will be the convolution of the OSA filter shape with the spectrum to be measured. In other words, the impulse spectrum of the OSA will be multiplied by the DUT impulse spectrum;
 - for example, an OSA with a Gaussian filter shape of 10 GHz (80 pm) at –3 dB (RBW), has a maximum coherence time of 250 ps. The sampling time interval will consequently be 500 ps in order to respect the Nyquist theorem. The frequency step will then have to be less than or equal to 1/500 ps or 2 GHz (16 pm). This step would typically be achievable by commercially available OSA;
 - in a swept measurement system, an electronic filter may be used to broaden the bandwidth (RBW) i.e. smaller coherence time and may consequently allow a larger frequency step.

3) Avec une source à bande étroite

- Cette approche est proche de celle utilisée avec l'OSA, dans laquelle la forme de raie de la source remplace la forme de filtre d'OSA.
- Par exemple, une source laser accordable avec une largeur de raie de 10 kHz, aura un temps de cohérence maximal d'environ 250 μs. L'intervalle de temps d'échantillonnage minimal devra alors être de 500 μs, ou avoir un pas en fréquence inférieur ou égal à 2 kHz, afin de respecter le théorème de Nyquist.
- Dans un système de mesure à balayage, un filtre électronique peut être utilisé pour élargir la largeur de bande (largeur de raie effective - temps de cohérence plus court), et peut par conséquent permettre un pas en fréquence plus grand.

- g) Rassembler les données de mesure. Aux longueurs d'onde sélectionnées, insérer chacun des polariseurs ou appliquer une rotation au polariseur tournant, mesurer les trois SOP de sortie correspondant à l'insertion de chacun des trois polariseurs, et enregistrer les paramètres de Stokes correspondants de l'analyseur.
- h) Calculer le DOP pour déterminer si la mesure est valide. A partir des paramètres de Stokes normalisés mesurés,

$$DOP = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2} \quad (1)$$

Si le DOP est supérieur à 25 %, la mesure est valable. Si le DOP est inférieur à 25 %, augmenter la puissance de la source et répéter l'étape g) ci-dessus.

6 Calculs

6.1 Calculs d'analyse par la sphère de Poincaré

A partir des vecteurs de Stokes normalisés mesurés $\hat{H}$, $\hat{V}$, $\hat{Q}$, calculer

$$\hat{h} = \hat{H}, \quad \hat{q} = \frac{\hat{H} \times \hat{Q}}{|\hat{H} \times \hat{Q}|} \times \hat{H}, \quad \hat{v} = \frac{\hat{Q} \times \hat{V}}{|\hat{Q} \times \hat{V}|} \times \hat{Q} \quad (2)$$

pour rendre l'analyse indépendante des SOP d'entrée et ainsi ne pas avoir à les connaître.

A partir des vecteurs de Stokes $\hat{h}$, $\hat{v}$ et $\hat{q}$, former les produits vectoriels $\hat{c} = \hat{h} \times \hat{q}$ et $\hat{c}' = \hat{q} \times \hat{v}$ à chaque longueur d'onde. Pour chaque intervalle de longueur d'onde, calculer les différences finies,

$$\Delta \hat{h} = \hat{h}(\omega + \Delta\omega) - \hat{h}(\omega) \quad \Delta \hat{q} = \hat{q}(\omega + \Delta\omega) - \hat{q}(\omega) \quad \Delta \hat{v} = \hat{v}(\omega + \Delta\omega) - \hat{v}(\omega) \quad (3)$$

$$\Delta \hat{c} = \hat{c}(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}(\omega) \quad \Delta \hat{c}' = \hat{c}'(\omega + \Delta\omega) - \hat{c}'(\omega)$$

Trouver le DGD, $\Delta\tau$, pour un intervalle de longueur d'onde particulier à partir de l'expression suivante:

$$\Delta\tau = \frac{1}{\Delta\omega} \cdot \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} (\Delta \hat{h}^2 + \Delta \hat{q}^2 + \Delta \hat{c}^2)} \right) + \arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} (\Delta \hat{q}^2 + \Delta \hat{v}^2 + \Delta \hat{c}'^2)} \right) \right] \quad (4)$$

Chaque valeur de DGD est censée représenter le DGD au point moyen de l'intervalle de longueur d'onde correspondant.