

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Laser displays –

Part 5-7: Measuring methods of image quality affected by speckle for scanning laser displays

Affichages laser –

Partie 5-7: Méthodes de mesure de la qualité d'image affectée par la tacheture pour les affichages laser à balayage



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Laser displays –

Part 5-7: Measuring methods of image quality affected by speckle for scanning laser displays

Affichages laser –

Partie 5-7: Méthodes de mesure de la qualité d'image affectée par la tacheture pour les affichages laser à balayage

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.260

ISBN 978-2-8322-1069-5

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions, abbreviated terms, and letter symbols.....	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Abbreviated terms.....	8
3.3 Letter symbols	9
4 Standard measuring conditions.....	10
4.1 General.....	10
4.2 Standard measuring environmental conditions	10
4.3 Standard measuring dark-room conditions	10
4.4 Standard DUT conditions	10
4.5 Standard LMD requirements	10
4.6 Screen requirements.....	12
5 Standard measurement setup and coordinate system	12
5.1 Direct measurement setup	12
5.2 Diffuse reflectance standard measurement	13
5.3 Full-screen measurement.....	14
6 Measuring methods	15
6.1 Wavelength/spectrum and photometric/colorimetric measurements.....	15
6.2 Monochromatic speckle contrast and colour speckle	17
6.2.1 General	17
6.2.2 Noise analysis of speckle	17
6.2.3 Measurement procedure	18
6.3 Speckle-affected image resolution	19
6.3.1 Grille patterns.....	19
6.3.2 Contrast modulation (grille-pattern contrast) under speckle effects	19
6.3.3 Measurement procedure	22
6.3.4 Colour speckle and dynamic colour speckle.....	23
6.4 Non-uniformity/uniformity	25
6.4.1 General	25
6.4.2 Measurement points	25
6.4.3 Measuring method	25
Annex A (informative) Spectral accuracy for keeping a specific chromaticity accuracy	28
A.1 General.....	28
A.2 Calculated example of wavelength accuracy	28
Annex B (informative) Conventional contrast modulation (grille-pattern luminance contrast) for displays	29
Annex C (informative) Examples of speckle data for grille patterns	31
Bibliography.....	33
Figure 1 – Setup and coordinate system of direct illuminance measurements	13
Figure 2 – Setup and coordinate system of diffuse reflectance standard measurements	14
Figure 3 – Setup and coordinate system of full-screen measurements	14

Figure 4 – Example of spectra of single-longitudinal mode RGB lasers	15
Figure 5 – Example of spectrum of multi-longitudinal modes	16
Figure 6 – Grille patterns in both horizontal and vertical directions.....	19
Figure 7 – Measured data of speckled grille pattern and lines along the grille direction.....	21
Figure 8 – Eye-diagram representation of normalized illuminance distribution of speckle	22
Figure 9 – Example of chromaticity distribution for the colour speckle observed in the uniform image region (CIE 1976 plot).....	24
Figure 10 – Example of dynamic colour speckle in a period (CIE 1976 plot).....	25
Figure 11 – Non-uniformity measurement positions (rectangular pattern)	26
Figure 12 – Non-uniformity measurement positions (grille pattern).....	27
Figure A.1 – Calculated wavelength accuracy to keep $ \Delta u' $, $ \Delta v' < 0,001$	28
Figure B.1 – Example of the measured grille pattern	29
Figure B.2 – Example of C_M plot.....	30
Figure C.1 – Example of visualized 2D-captured data for R, G, B monochromatic speckle, and for colour speckle of colour W (white).....	31
Figure C.2 – Example of $C_{M\text{-speckle}}$ plot under the effects of speckle.....	32
Table 1 – Letter symbols (quantity symbols / unit symbols)	9

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62906-5-7:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LASER DISPLAYS –

**Part 5-7: Measuring methods of image quality affected
by speckle for scanning laser displays**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62906-5-7 has been prepared by IEC technical committee 110: Electronic displays. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
110/1366/FDIS	110/1390/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

A list of all parts in the IEC 62906 series, published under the general title *Laser displays*, can be found on the IEC website.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62906-5-7:2022

INTRODUCTION

Beam-scanning laser displays have specific features which are quite different from full-frame (FF) laser displays using a spatial light modulator (SLM) and other electronic displays.

The image of the beam-scanning laser displays is usually projected on a planar or curved screen. Scanning laser displays that excite or pump full or patterned phosphor layers on a separate screen are excluded. The image pixels are virtually created by high-speed modulation of a scanning laser beam combining at least R, G, B primary colour beams, which is sometimes called "flying spot". Compared with displays with spatial light modulators, the image formed on the screen can have additional spatio-temporal blur and non-uniformities. Therefore, to measure the image quality projected on the screen, the dynamic scan mechanism even for still images is considered.

Furthermore, speckle greatly affects the image quality because a speckle pattern is created on the retina by interference of the coherent or partially coherent laser lights scattered on the screen. It is more difficult for the beam-scanning laser displays to reduce speckle effects than other laser displays. This is because some of the effective speckle-reducing techniques such as moving diffusers and angular compounding are not applicable to a laser beam. Therefore, the speckle more greatly affects the measurements of illuminance, chromaticity and resolution, that is, speckle effects are more dominant in that type of displays and therefore it is necessary to use light measuring equipment designed for measurements under the effect of speckle.

The speckle-affected image quality of scanning laser displays strongly depends on the optical quality of the laser beam, such as scanning speed, scanning angle, image-signal modulation, and speckle. The detail of the measuring methods of the laser beam emitted out of laser modules is specified in IEC 62595-2-4 [1]¹.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

LASER DISPLAYS –

Part 5-7: Measuring methods of image quality affected by speckle for scanning laser displays

1 Scope

This part of IEC 62906 specifies the standard measurement conditions and methods for determining the quality of images projected by a scanning laser display on a visible light fluorescence-free screen, when observed as being affected by speckle noise due to laser coherence.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 62471 (all parts), *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

IEC 62906-5-2, *Laser display devices – Part 5-2: Optical measuring methods of speckle contrast*

IEC 62906-5-4, *Laser display devices – Part 5-4: Optical measuring methods of colour speckle*

IEC 62906-5-6, *Laser displays – Part 5-6: Measuring methods for optical performance of projection screens*

3 Terms, definitions, abbreviated terms, and letter symbols

3.1 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

scanning laser display

laser display capable of projecting an image on a planar or curved screen by spatially scanning one or several laser beams

3.1.2

raster-scan laser display

laser display capable of projecting an image on a planar or curved screen by scanning one or several laser beams line-by-line

3.1.3

FF laser display

full-frame laser display

laser display capable of projecting an image on a screen via one or several spatial light modulators using one or several light sources including lasers

3.1.4

speckle-affected image quality

attributes of display image particularly affected by speckle, captured by human eyes, and described by spatially dependent optical properties, spatial contrast, spatial noise and its spatial distribution, each of which depends on input colours

3.1.5

speckle-affected image resolution

resolution of display image particularly affected by speckle, captured by human eyes, and described by spatially dependent optical properties, spatial contrast, spatial noise and its spatial distribution, each of which depends on input colours, measured separately for different directions

3.1.6

dynamic colour speckle

<of scanning laser display> colour speckle observed in the edge regions of an image pattern as the input signal levels of a scanning laser beam vary

3.1.7

laser multi-meter

light measuring device based on non-spectrometric methods using absorption filters with linear wavelength ramps capable of measuring centroid wavelength and optical power of laser light sources operating in single or multiple longitudinal mode, from which the tristimulus values XYZ are calculated to derive colorimetric and photometric quantities using the CIE colour-matching functions

Note 1 to entry: See [2].

3.1.8

wavelength meter

light measuring device based on the principle of interference which is used for precise wavelength measurements of laser devices

3.1.9

Fourier transform spectrometer

light measuring device based on the principle of interference in which the length of a cavity is temporally scanned, calculating the spectrum by Fourier transforming the raw data recorded in the time domain

3.2 Abbreviated terms

DUT	device under test
LD	laser diode
LMD	light measuring device
MTF	modulation transfer function
ND	neutral density
NF	noise factor
RGB	red, green, blue
RMS	root mean square
SLM	spatial light modulator

SNR signal-to-noise ratio

W white colour

3.3 Letter symbols

The letter symbols are shown in Table 1.

Table 1 – Letter symbols (quantity symbols / unit symbols)

Distance from screen to DUT	D_1	m
Distance from screen to LMD (speckle, luminance)	D_2	m
Azimuth angle	ϕ	degree
Angle between the optical axis of DUT and LMD	$\Delta\theta$	degree
Cartesian coordinate on the screen or the virtual screen	x, y, z	-
Subscript denoting primary colours, R, G, B	Q	-
Optical output power	P	W
Optical output power of primary colours	P_Q	W
Irradiance	E_e	W/m ²
Irradiance of primary colours	E_{e-Q}	W/m ²
Illuminance	E_v	lm/m ²
Illuminance of primary colours	E_{v-Q}	lm/m ²
Radiance of primary colours	L_Q	W/sr/m ²
Wavelength	λ	nm
Wavelength of primary colours	λ_Q	nm
Centroid wavelength	λ_c	nm
Reference wavelength	λ_r	nm
Wavelength difference	δ	nm
CIE tristimulus values	X, Y, Z	-
CIE colour matching functions	$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$	-
CIE 1931 coordinates	x, y	-
CIE 1976 coordinates	u', v'	-
Root mean square of illuminance	E_{v-rms}	lm/m ²
Monochromatic speckle contrast of primary colours	C_{s-Q}	-
Photometric speckle contrast	C_{ps}	-
Contrast modulation, grille-pattern luminance contrast for the conventional displays	C_M	-
Contrast modulation, grille-pattern contrast (average)	C_{M-ave}	-
Contrast modulation, grille-pattern contrast (speckled)	$C_{M-speckle}$	-
Illuminance along a line at local maximum or local minimum used in the calculation of $C_{M-speckle}$	E_{v-H}, E_{v-L}	lm/m ²
Average illuminance along a line at local maximum or local minimum used in the calculation of $C_{M-speckle}$	$\bar{E}_{v-H}, \bar{E}_{v-L}$	lm/m ²
Luminance along a line at local maximum or local minimum used in the calculation of C_M	L_H, L_L	lm
Nonuniformity	NU	%

Uniformity	U	%
Maximum or minimum illuminance of the thirteen windows for nonuniformity measurement	$E_{v-max} E_{v-min}$	lm/m ²
CIE 1976 chromaticity difference	$\Delta u' v'$	-
Maximum of chromaticity difference of the thirteen windows for nonuniformity measurement	$(\Delta u' v')_{max}$	-

4 Standard measuring conditions

4.1 General

Unless stated otherwise, the following conditions shall be applied.

Measurements shall be performed according to the laser safety regulation in IEC 60825-1 for the products classified above Class 2M, and/or IEC 62471 (all parts) for RG2 and RG3.

4.2 Standard measuring environmental conditions

Measurements shall be carried out under the standard environmental conditions:

- temperature: 25 °C ± 3 °C
- relative humidity: 25 % to 85 %
- pressure: 86 kPa to 106 kPa

When different environmental conditions are used, they shall be noted in the report.

4.3 Standard measuring dark-room conditions

The background illuminance of the standard dark room shall be less than 0,01 lx.

NOTE The maximum illuminance depends on the direction of the LMD.

4.4 Standard DUT conditions

Measurements shall be started after the DUT achieves stability, keeping the same operating mode. The operating mode of the DUT shall be noted in the report. The stability shall be achieved when the output power of the DUT varies within ±3 % over the entire measurement timeframe.

4.5 Standard LMD requirements

The LMD performance shall be as follows:

- a) optical power meter
 - accuracy: ±5 %
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
- b) spectral irradiance meter
 - wavelength accuracy: ±0,3 nm
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - spectral bandwidth: ≤ 5 nm

- c) spectral radiance meter
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - spectral bandwidth: ≤ 5 nm
- d) filter-based illuminance meter
 - calibrated by the spectroradiometer

NOTE 1 It is used for the setup in Figure 1.

- e) filter-based luminance meter
 - calibrated by the spectroradiometer

NOTE 2 It is used for the setup in Figure 2 or Figure 3.

- f) filter-based colorimeter
 - calibrated by the spectroradiometer
- g) wavelength meter
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
- h) laser multi-meter
 - calibrated by the spectroradiometer
 - wavelength range: covering the R, G, B laser wavelengths
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
- i) spectroradiometer
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
 - spectral bandwidth: ≤ 5 nm
 - spectral stray light inside: shall be corrected

NOTE 3 For calibrating array spectroradiometers, see [3], [4].

- j) Fourier transform spectrometer
 - spectral range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
 - spectral bandwidth: ≤ 1 nm
- k) optical spectrum analyzer
 - wavelength range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - wavelength accuracy: $\pm 0,3$ nm
 - spectral bandwidth: $\leq 0,1$ nm

NOTE 4 The optical spectrum analyzer is used particularly for precisely analysing the spectral structure of the longitudinal modes of the laser devices.

- l) speckle measurement equipment (speckle meter)
 - fundamental requirements shall be compliant with IEC 62906-5-2 and IEC 62906-5-4
 - wavelength range: covering at least the R, G, B laser wavelengths
 - synchronised with the frame refresh signal of the DUT to avoid the measurement errors due to an unfinished frame scan

NOTE 5 The R, G, B speckle patterns are obtained using calibrated R, G, B filters. When the XYZ filters are used, more careful calibration is done.

The LMDs shall have sufficient sensitivity and dynamic range to obtain accurate measurement results. That is, the LMD shall be capable of measuring accurately up to the absolute maximum rating of the DUT. However, a calibrated ND filter or other calibrated optics shall be used if the LMD is saturated by a too large optical output of the DUT.

When an LMD with a different performance is used, its specifications shall be noted in the report.

The optical filters used in the LMDs shall be calibrated appropriately.

The laser emission spectra are very narrow, and their chromaticity coordinates are almost on the wavelength locus of the chromaticity diagrams. Therefore, the chromaticity accuracy is sensitive to wavelength. The curvature of the wavelength locus at the laser wavelength greatly affects the chromaticity accuracy. The wavelength accuracy of $\pm 0,3$ nm specified in b), c), g), h), i), j) and k) above is a practical value mostly common to the conventional display measurements. To keep a specific value of chromaticity accuracy at a specific wavelength, the wavelength accuracy shall be evaluated [1]. Examples of the wavelength accuracy curves for various visible wavelengths are shown in Annex A.

4.6 Screen requirements

For the measurements using a full-size screen, a small screen or small screens, the screen materials shall be the Lambertian diffuse reflectance surface white standard. They shall be mechanically fixed in order to prevent blur or speckle reduction effect caused by unintentional movement. The screen shall have Lambertian diffusive reflectance values over 98 % and under 102 % at least for the RGB wavelengths. Otherwise, the screen specifications related to screen gain such as viewing angle characteristic, peak gain, half-gain angle, and so on shall be reported (see IEC 62906-5-6). The projection distance from the DUT to the screen, the projection direction, viewing mode, height, and tilted angle of the setup shall be also reported (see Figure 3).

NOTE The scattering properties and the spectral reflectance of the screen will affect the measurement results.

5 Standard measurement setup and coordinate system

5.1 Direct measurement setup

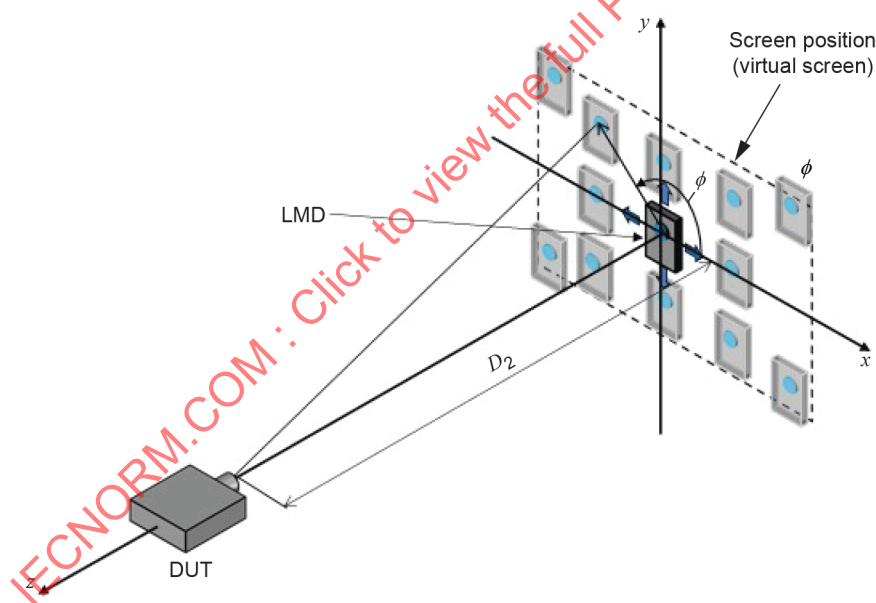
The fundamental properties of the DUT, such as R, G, B wavelengths/spectra, R, G, B irradiance, R, G, B illuminance, the illuminance and chromaticity of the RGB colours, and their non-uniformity, shall be accurately measured, unaffected by the screen and speckle behaviours, which means speckle and resolution shall not be measured directly. In this method, the above items can be measured by setting an LMD at one of the positions on a virtual screen where the screen measurements are supposed to be carried out. The LMD may be moved along the virtual screen from one position to another.

The setup, including the coordinate system for the direct measurements, is shown in Figure 1. The projection axis of the DUT is assumed to coincide with the z -axis normal to the centre of the projection area on the virtual screen (the origin of the x - y plane). If the projection axis is tilted against the virtual screen and the projection area is calibrated, the tilt angle β shall be added to Figure 1, as in IEC 62906-5-6. If the virtual screen is curved and the projection area is calibrated, the curvature shall be added to Figure 1. The LMD shall have an aperture larger than the incident beam diameter. Multiple LMDs may be prepared and set at every measurement position for simultaneous measurements as an alternative setup. In this case, all the LMDs shall be calibrated to minimize instrumental error.

5.2 Diffuse reflectance standard measurement

An alternative setup including the coordinate system for measuring R, G, B wavelengths/spectra, R, G, B radiance, monochromatic/colour speckle or their nonuniformity using a small diffuse reflectance white standard is shown in Figure 2. The small diffuse reflectance white standard specified in 4.6 shall be used and set firmly at one of the positions on the virtual screen. The small diffuse reflectance standard may be moved along the virtual screen from one position to another, or multiple small diffuse reflectance standards may be prepared and set at every position. The setup in Figure 2 may also be used instead of the full-screen measurement in Figure 3 if the full-size standard diffuse reflectance white screen is not available nor cost-effective.

The measured radiance values at the small diffuse reflectance shall be converted into irradiance. The radiance shall be measured normal to the diffuse reflectance standard. However, the DUT sometimes comes into the LMD field of view, or the LMD sometimes makes its shadow in the projection area because the DUT and the LMD are set on the same side. To avoid this problem, the angle of the LMD may be set slightly apart from the optical axis of the DUT, usually normal to the virtual screen. The angular difference between them is denoted by $\Delta\theta$ in Figure 2. It shall be kept small to have a negligibly small error in radiance measurement, or the measured radiance value shall be calibrated. The coherent or partially coherent light diffused on the reflectance standard causes speckle. Therefore, the reproducibility of the radiance measurement shall be confirmed. For speckle measurement, the size of the small diffuse reflectance or the area for measuring speckle contrast shall be optimized considering the captured 2D data size of the speckle measurement equipment or the number of measurement repetitions, as in the statistical error analysis in IEC 62906-5-4.



IEC

Figure 1 – Setup and coordinate system of direct illuminance measurements

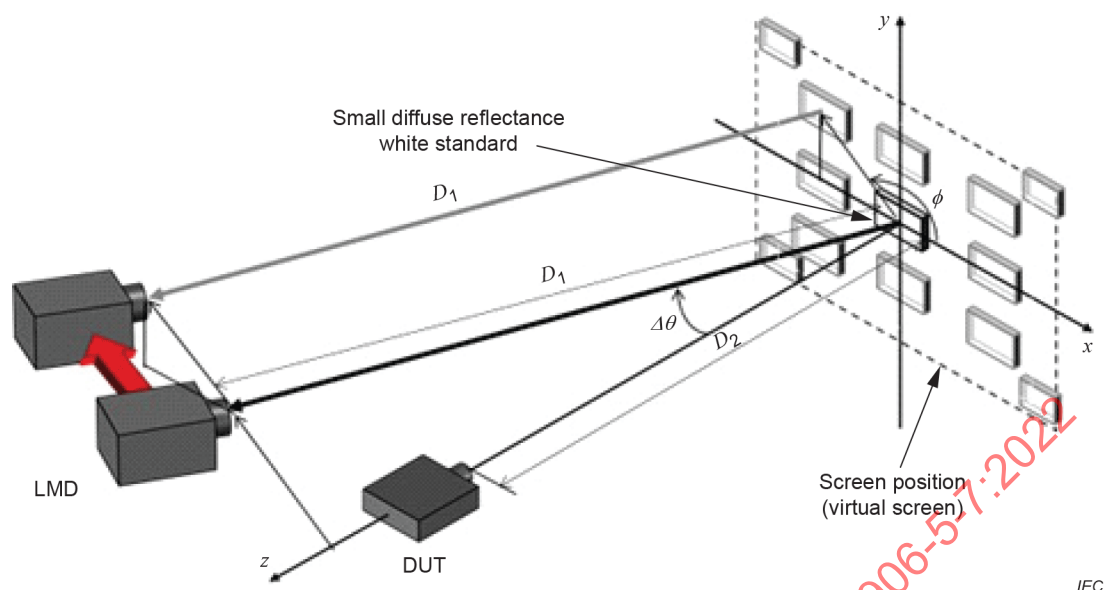


Figure 2 – Setup and coordinate system of diffuse reflectance standard measurements

5.3 Full-screen measurement

The measurement setup including the coordinate system of measurements using a full-size screen is shown in Figure 3. This setup shall be used for measuring R, G, B wavelengths/spectra, R, G, B radiance, monochromatic/colour speckle or their nonuniformity. The standard Lambertian diffuse surface reflectance white screen specified in 4.6 shall be used as a full-size screen. The contents in 5.2 shall be applied except usage of the full-size screen.

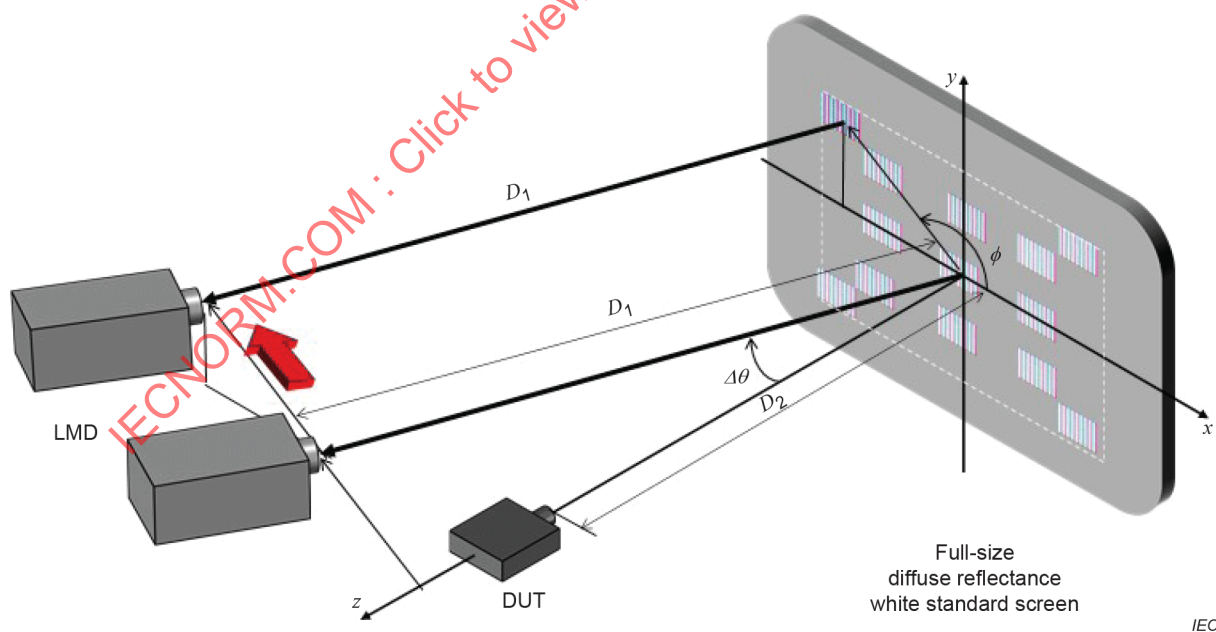


Figure 3 – Setup and coordinate system of full-screen measurements

6 Measuring methods

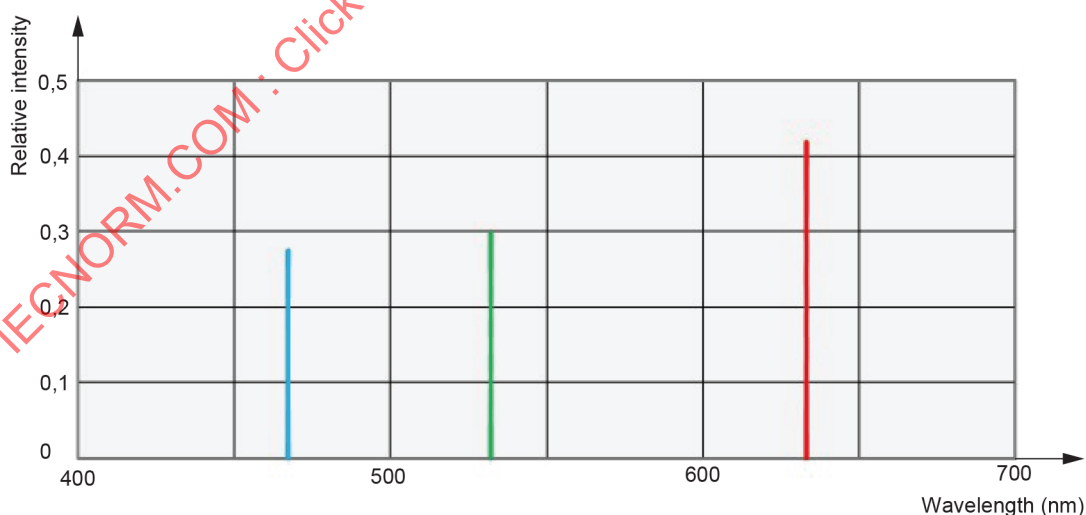
6.1 Wavelength/spectrum and photometric/colorimetric measurements

The spectra shall be measured using a spectroradiometer, Fourier transform spectrometer, or spectrum analyzer. The wavelengths shall be measured using a wavelength meter or a laser multi-meter. The LMD shall be set at the position shown in Figure 1, Figure 2, or Figure 3.

Many scanning laser displays use single transverse/longitudinal modes R, G, B laser devices with very narrow spectral linewidth much smaller than 1 nm. Each of the R, G, B spectra can be represented by a single value of wavelength. An example of the R, G, B spectra is shown in Figure 4.

Some of the scanning laser displays require high-power laser devices operating in multiple transverse/longitudinal modes. A multi-longitudinal mode spectrum is much broader than a single-longitudinal mode spectrum, as in the example shown in Figure 5. Multiple longitudinal mode operation can cause complicated dynamic variations in the mode structure due to temporal mode-competition and/or spatial/spectral hole burning. An example of asymmetric longitudinal mode structures within a bandwidth of a few nanometres is shown in Figure 5. For such a complicated spectral structure, it is quite beneficial to use the centroid wavelength λ_c . The calculated chromaticity errors can be kept small if using λ_c [1],[2]. The centroid wavelength λ_c for the multi-longitudinal mode spectrum in Figure 5 is calculated to be 445,26 nm.

The tristimulus values X , Y , Z should be calculated from the spectra or wavelengths. The RGB peak intensity shall not be used to calculate chromaticity because the spectral linewidth and/or shape can be different among R, G, B laser devices. Therefore, irradiance E_{e-R} , E_{e-G} , E_{e-B} for each R, G, B colour shall be independently measured using the setup shown in Figure 1. To calculate the irradiance values, optical power P_R , P_G , P_B may be measured using the setup shown in Figure 1 or the radiance values L_R , L_G , L_B may be measured using the setup shown in Figure 2 or Figure 3.



IEC

Figure 4 – Example of spectra of single-longitudinal mode RGB lasers

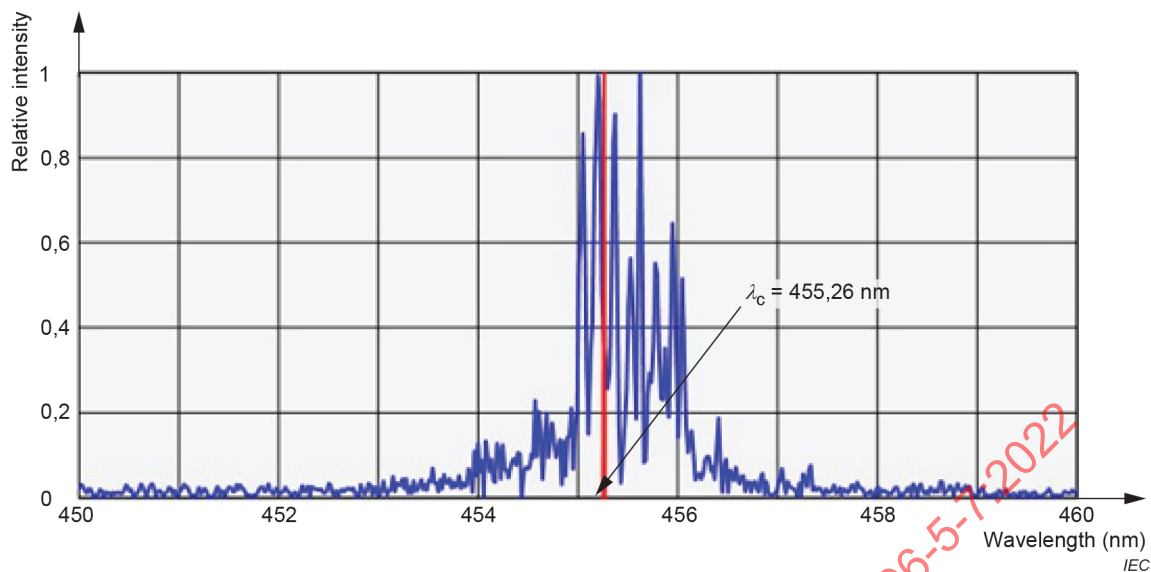


Figure 5 – Example of spectrum of multi-longitudinal modes

A single wavelength value may be simply used for tristimulus calculations in the case of the narrow spectral linewidth of laser devices operating in a single longitudinal mode. As mentioned above, the centroid wavelength (the approximated single wavelength value) can be applied for the asymmetric multi-longitudinal mode spectral structures within a bandwidth of a few nanometres. Then, using CIE colour matching functions at the wavelength of each primary colour $\bar{x}(\lambda_Q)$, $\bar{y}(\lambda_Q)$, $\bar{z}(\lambda_Q)$, ($Q = R, G, B$), the tristimulus values X , Y , Z can be calculated by the following formulae:

$$\begin{aligned} X &= \bar{x}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{x}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{x}(\lambda_B)E_{e-B}, \\ Y &= \bar{y}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{y}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{y}(\lambda_B)E_{e-B}, \\ Z &= \bar{z}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{z}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{z}(\lambda_B)E_{e-B} \end{aligned} \quad (1)$$

For the special case of using laser devices emitting at a much wider bandwidth (e.g., high-frequency signal superposition, usage of multiple laser devices, etc.), the usual integral tristimulus formulae should be used.

CIE 1931 chromaticity (x, y) and CIE 1976 chromaticity (u', v') are given as follows, respectively.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2)$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad (3)$$

Illuminance shall be obtained by

$$E_v = 683 \times Y \quad (4)$$

6.2 Monochromatic speckle contrast and colour speckle

6.2.1 General

Monochromatic speckle and colour speckle are recognized as an optical noise pattern on the human retina, created by interference of the coherent or partially coherent lights scattered on a diffuse surface. The monochromatic speckle pattern consists of grains of various sizes with high/low retinal illuminance [5], [6], [7]. The colour speckle pattern consists of various-sized grains of various colours with high/low retinal illuminance. As the standardized speckle measuring method, a standard external full-size diffuse screen, a small standard diffuse screen or screens shall be used. The screen materials shall be the Lambertian diffuse reflectance surface white standard as specified in 4.6.

The definition of the minimum speckle grain size is given in IEC 62906-1-2 [8]. The grain size depends on the wavelength. For longer wavelengths, the grain size tends to be larger. That is, the grain size of red (R) is larger, and that of the blue (B) is smaller.

The measuring methods of monochromatic speckle contrast shall be carried out in accordance with IEC 62906-5-2, and those of colour speckle shall be carried out in accordance with IEC 62906-5-4.

The formulation in 6.1 shall also be applied to colour speckle measurements, as in IEC 62906-5-4. Each of the R, G, B monochromatic speckle patterns is measured by a 2D sensor in the LMD. The sensor pixel of the 2D sensor shall be smaller than the minimum speckle grain size. The colour speckle pattern is created by colour addition of the R, G, B speckle patterns. The complicated colour speckle pattern is separated into the primary colours to analyse the original R, G, B patterns. An LMD with an automatic changer of optical bandpass filters is recommended. The R, G, B irradiance values in Formula (1) correspond to the colour-separated speckle irradiance at a specific position of the sensor pixels. Chromaticity and illuminance of the colour speckle at the sensor pixel can be obtained using Formula (2) to Formula (4) based on the tristimulus values.

The DUT shall be primary-colour additive, or the DUT operating in the colour-additive mode shall be used. Colour additivity can be checked by comparing the average of the chromaticity distribution with the chromaticity measured directly by the setup shown in Figure 1.

NOTE The 2D sensor is planar, not curved as with the retina. The unit for illuminance on the 2D sensor is not the same as the unit for retinal illuminance (troland). The measured values of speckle illuminance are relative values and the measured image is assumed to be that which the human brain recognizes.

Particularly for speckle measurement of the scanning laser displays, the exposure time of the LMD shall be synchronised with the frame refresh signal of the DUT. A high-speed LMD capable of setting an exposure time much shorter than a frame period should be used for checking the effect of unfinished frame scan.

6.2.2 Noise analysis of speckle

Based on the noise analysis theory, the speckle noise shall be analysed using the root mean square (RMS) of illuminance superposed on the average. For 2D-captured illuminance data (data size: M), the RMS value of the speckle noise is expressed as follows:

$$E_{v-rms} = \sqrt{\sum_{m=1}^M (E_{v-m} - \bar{E}_v)^2 / M} \quad (5)$$

where,

E_{v-m} ($m = 1, 2, \dots, M$) is the m -th data,

$\bar{E}_v$ is the average of speckle illuminance values.

The RMS noise of speckle, E_{v-rms} , is equal to the standard deviation of speckle distribution σ . Therefore, E_{v-rms} is exactly equal to photometric speckle contrast C_{ps} when the illuminance values are normalised by the average $\bar{E}$. That is, the following formula holds.

$$E_{v-rms} / \bar{E}_v = C_{ps} \quad (6)$$

From a viewpoint of noise analysis, C_{ps} is the inverse of the signal-to-noise ratio (SNR). (Instead of C_{ps} , speckle contrast C_s is simply used for monochromatic speckle.)

The noise factor (NF) is defined as the ratio of the input SNR to the output SNR. The input optical SNR is assumed to be the unity for uniform signals. Therefore, the photometric speckle contrast C_{ps} is also equal to the optical noise factor NF.

6.2.3 Measurement procedure

The procedure for obtaining the fundamental 2D colour speckle data shall be as follows.

- a) Measure the environmental conditions and verify that they meet the requirements of this document.
- b) Determine the positions of the screen or the virtual screen, DUT and LMDs.
- c) Set the DUT (distance D_1).
- d) Choose the colour (represented as W assuming white colour) of a uniform window pattern.
- e) Project the window pattern on the virtual screen (Figure 1), the small-size diffuse reflectance standard (Figure 2), or the full-size screen (Figure 3).
- f) Wait for the DUT to stabilize.
- g) Set the LMDs for spectra/wavelengths, irradiance (or power, illuminance), chromaticity as in Figure 1, or set the LMDs for spectra/wavelengths, radiance as in Figure 2.
- h) Wait for the LMDs to stabilize.
- i) Measure the spectra/wavelengths of the R, G, B colours, R, G, B irradiance (or RGB powers, R, G, B illuminance), illuminance and chromaticity of the W colour (Figure 1), or measure the spectra/wavelengths of the R, G, B colours, R, G, B radiance (Figure 2, Figure 3).
- j) Set the small-size diffuse reflectance standard (Figure 2) or the full-size screen (Figure 3) for speckle measurements if the setup in Figure 1 is chosen in the procedure e).
- k) Set the LMD for speckle measurements.
- l) Adjust the LMD for speckle measurements (distance D_2 , angle $\Delta\theta$, focusing, and exposure time).
- m) Capture the 2D monochromatic speckle data for each of the RGB inputs.
- n) Calculate the colour speckle 2D data and the speckle metrics (monochromatic speckle contrast, photometric speckle contrast and colour speckle distribution in the chromaticity diagram) by colour mixing using the wavelengths and R, G, B irradiance data, following the methods explained in IEC 62906-5-4.
- o) Report the conditions and the monochromatic and colour speckle metrics.

6.3 Speckle-affected image resolution

6.3.1 Grille patterns

The grille patterns for measuring the speckle-affected image resolution shall be basically common to the conventional method for displays, known as contrast modulation (C_M), or, more accurately, grille-pattern luminance contrast, except otherwise specified. It should be noted that C_M under the speckle effect shall be measured as irradiance/illuminance as specified in 6.2. The horizontal and vertical resolutions are important particularly for raster-scan laser displays because the image modulation protocol is vastly different between both directions. For the laser displays using other scanning protocols, more appropriate patterns shall be employed. In any case, the pattern employed for the measurement shall be reported.

The grille patterns for measuring the resolution along the horizontal direction are shown in Figure 6a) and those along the vertical direction are shown in Figure 6b). The conventional method using the patterns in Figure 6a) for the horizontal direction is shown in Annex B. Examples of the C_M plot for obtaining the image resolution are also shown in Annex B.

For other scanning protocols, line-pair patterns along the scanning directions should be included. For example, slant line-pair patterns for a slant scan direction, or curved line-pair patterns for a curved scan protocol should be used. Particularly for speckle-affected resolution measurements, statistically sufficient data should be taken along the line-pair direction.

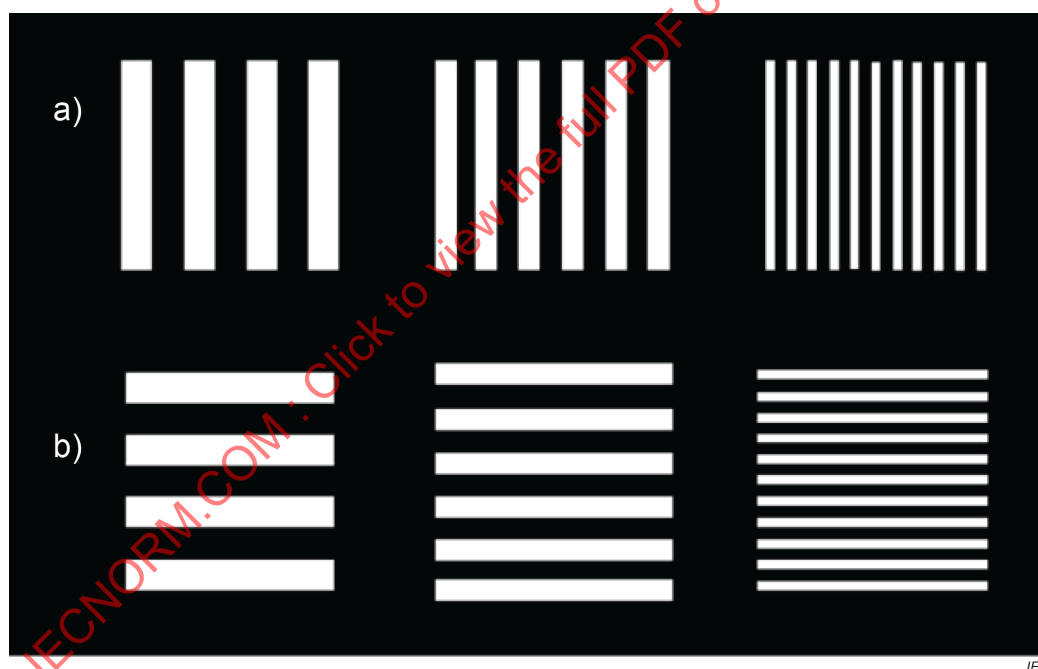


Figure 6 – Grille patterns in both horizontal and vertical directions

6.3.2 Contrast modulation (grille-pattern contrast) under speckle effects

The speckle-affected image resolution is most important from a practical viewpoint because the speckle greatly affects the resolution observed by all. The measurement of the speckle-affected image resolution shall be carried out using the full-size or small-size standard diffuse reflectance surface screen and the LMD designed for speckle measurements as in the on-screen measurement setup in Figure 3. The measurements shall be carried out based on the speckle measurements specified in 6.2.

The measurement of C_M under the speckle effect requires more complicated procedures than the conventional method for image resolution. The speckle noise shall be statistically treated. The illuminance and chromaticity values along the lines parallel to the grille direction statistically fluctuate because they are affected by colour speckle. The average values of illuminance and chromaticity along the lines parallel to the grille direction vary line by line around the edge of the grille pattern, as explained in 6.3.4.

The speckle grain-size effects on the image resolution become greater when the width of the grille lines becomes closer to the grain size [13]. The minimum grain size can be theoretically calculated using the wavelength, iris diameter and focal length of the lens as explained in IEC 62906-5-2. It is not easy to exactly predict each size of the larger speckle grains due to their randomness. Larger grains on a line parallel to the grille direction overlap with the neighbouring lines, making random correlations among the neighbouring lines. However, the measured 2D colour speckle data of illuminance and chromaticity include the real effects of the randomness of grain size. Therefore, the C_M method under the speckle effect using the measured speckle data can include the grain size effects.

Figure 7 shows (1) the original grille pattern, (2) the image data under the effect of colour speckle, (3) the corresponding normalized speckled illuminance distribution data, and (4) the average of the illuminance values along the grille direction. To obtain modulation contrast C_M , under the speckle effects, the RMS and the average value along the lines parallel to the grille direction (for example, lines a, b, c, d in Figure 7) can be used for representing the statistical property as a single cross-line plot. As a result, the local maximum and the minimum illuminances, $E_{H,L}$ in Figure B.1 can be replaced with the average values, $\bar{E}_{H,L}$.

The C_{M-ave} value under the speckle effect for average illuminance can be obtained as follows.

$$C_{M-ave} = \frac{\bar{E}_{V-H} - \bar{E}_{V-L}}{\bar{E}_{V-H} + \bar{E}_{V-L}} \quad (7)$$

However, the viewpoint of signal error analysis is also necessary. Figure 8 shows the eye-diagram representation of normalized illuminance distribution of speckle in Figure 7c). In the eye-diagram, the local maximum and the minimum illuminances are shown to be located at the same phase position. The lightest signal and the darkest signal can be distinguishable when the eye opens widely. If the eye closes, both signals cannot be distinguished. Considering Formula (7) and that C_{ps} implies the standard deviation σ , the speckle noise mostly distributes within $\bar{E}_{V-H}(1 \pm C_{ps})$ as in Figure 8. Therefore, the eye-opening is defined as the region between $\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps})$ and $\bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})$.

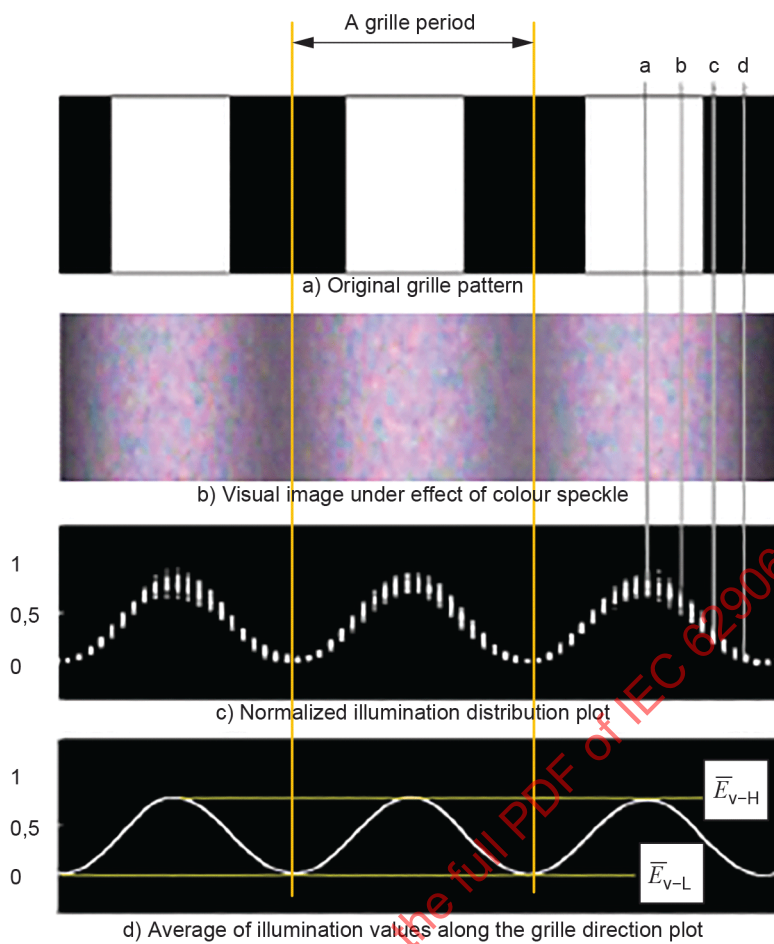
The $C_{M-speckle}$ value under the effect of colour speckle can be finally obtained as follows:

$$C_{M-speckle} = \frac{\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps}) - \bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})}{\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps}) + \bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})} = \frac{C_{M-ave} - C_{ps}}{1 - C_{ps}C_{M-ave}} \quad (8)$$

where

C_M is defined in Formula (7).

The above method shall be applicable for either each R, G, B colour or the colour created by additive colour mixing of R, G, B colours.



IEC

Figure 7 – Measured data of speckled grille pattern and lines along the grille direction

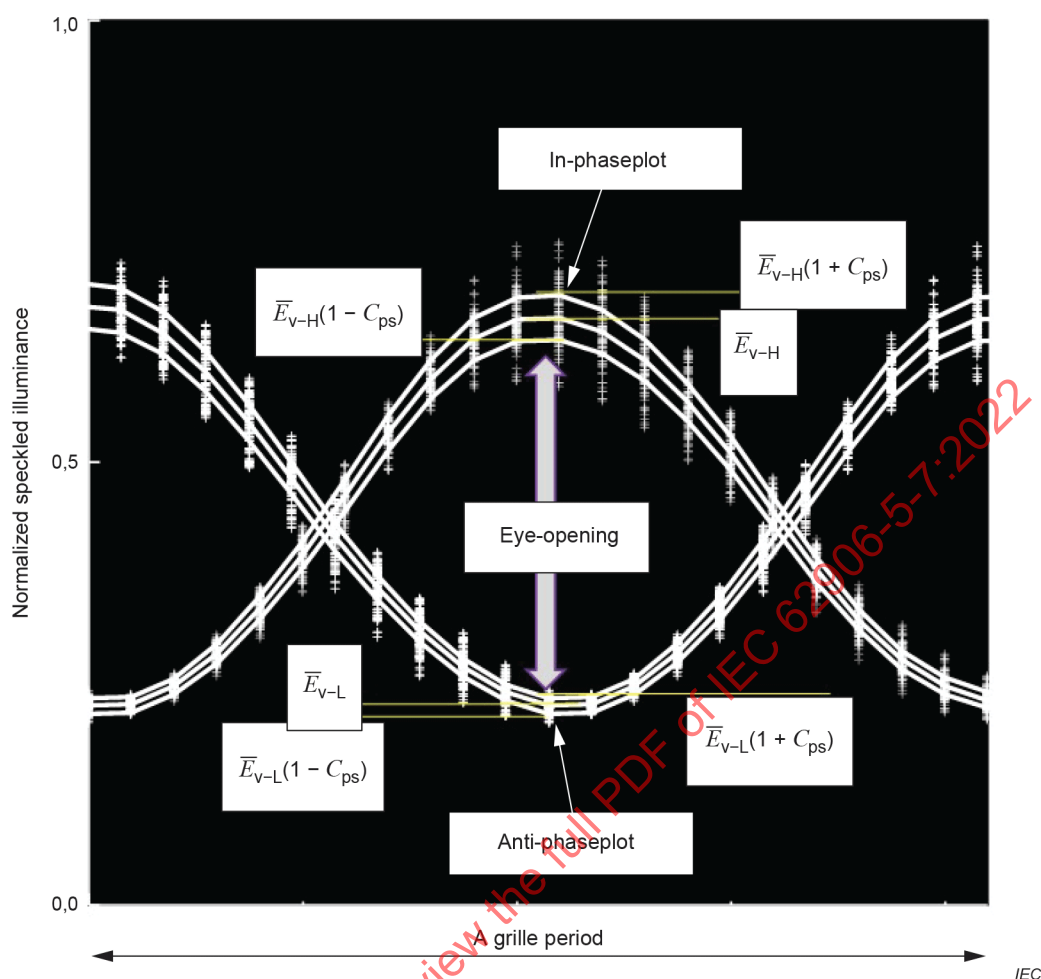


Figure 8 – Eye-diagram representation of normalized illuminance distribution of speckle

6.3.3 Measurement procedure

The procedure for obtaining the speckle-affected image resolution shall be as follows.

- Measure the environmental conditions and verify that they meet the requirements of this document.
- Determine the positions of the screen or virtual screen, DUT and LMDs.
- Set the DUT (distance D_1).
- Choose the colour (represented as W assuming white colour) of a uniform or grille window pattern.
- Project the uniform window pattern on the virtual screen (Figure 1), the small-size diffuse reflectance standard (Figure 2), or the full-size screen (Figure 3).
- Wait for the DUT to stabilize.
- Set the LMDs for spectra/wavelengths, irradiance (or power, illuminance), and chromaticity as in Figure 1, or set the LMDs for spectra/wavelengths and radiance as in Figure 2.
- Wait for the LMDs to stabilize.
- Measure the spectra/wavelengths of the R, G, B colours, R, G, B irradiance (or RGB powers, R, G, B illuminance), illuminance and chromaticity of the W colour (Figure 1), or measure the spectra/wavelengths of the R, G, B colours, R, G, B radiance (Figure 2, Figure 3).
- Set the small-size diffuse reflectance standard (Figure 2) or the full-size screen (Figure 3) for speckle measurements if the setup in Figure 1 is chosen in procedure e).

- k) Set the LMD for speckle measurements.
- l) Adjust the LMD for speckle measurements (distance D_2 , angle $\Delta\theta$, focusing, and exposure time.)
- m) Capture the 2D monochromatic speckle data for each of the RGB inputs.
- n) Calculate the colour speckle 2D data and speckle metrics (monochromatic speckle contrasts, photometric speckle contrast and colour speckle distribution in the chromaticity diagram) by additive colour mixing using the wavelengths and R, G, B irradiance data, following the methods explained in IEC 62906-5-4.
- o) Project the grille window pattern on the small-size diffuse reflectance standard (Figure 2), or the full-size screen (Figure 3).
- p) Capture the 2D monochromatic speckle data for the grille pattern for each of the RGB inputs.
- q) Calculate colour speckle 2D data by additive colour mixing using the wavelengths and R, G, B irradiance data, following the methods explained in IEC 62906-5-4.
- r) Calculate the RMS value of illuminance and the chromaticity distribution along the lines parallel to the grille direction.
- s) Repeat procedure r), changing the grille width.
- t) Plot the $C_{M\text{-speckle}}$ with respect to the grille line width.
- u) Obtain the resolution at $C_{M\text{-speckle}} = 0,5$ (other criteria may apply if necessary).
- v) Report the conditions, monochromatic and colour speckle metrics, $C_{M\text{-speckle}}$, and resolution.

An example of the captured 2D grille pattern data affected by speckle, plot of the obtained data of $C_{M\text{-speckle}}$ and resolution is shown in Annex C. The speckle and the effective laser beam profile projected on the standard full-size/small external diffuse screen greatly affects the resolution.

6.3.4 Colour speckle and dynamic colour speckle

The chromaticity distribution of the colour speckle shall be measured in a uniform window area projected on a full-size screen, a small screen or screens (Lambertian diffuse reflectance surface white standard) as in 6.2 (see also IEC 62906-5-4). For colour speckle, a plotted chromaticity point can have different illuminance levels because of the speckle nature of randomness. On the other hand, a chromaticity point corresponds to a unique illuminance value in usual usage of chromaticity diagrams. The measured colour speckle points have a degree of freedom both for chromaticity and illuminance. In other words, both illuminance noise and chromaticity noise are involved in colour speckle. It can be useful for understanding colour speckle to assume the $u'v'Y$ colour space. The chromaticity distribution for the colour speckle observed in the uniform image region spreads around the point (the fixed chromaticity and the fixed illuminance) of the colour which is represented as 'W' assuming white colour. An example of chromaticity distribution for the colour speckle observed in the uniform image region is shown in Figure 9. The R, G, B wavelengths, the chromaticity of W (white colour), the R, G, B speckle contrasts, and photometric speckle contrast of W obtained from the illuminance distribution are shown in Annex C and measured under the same conditions.

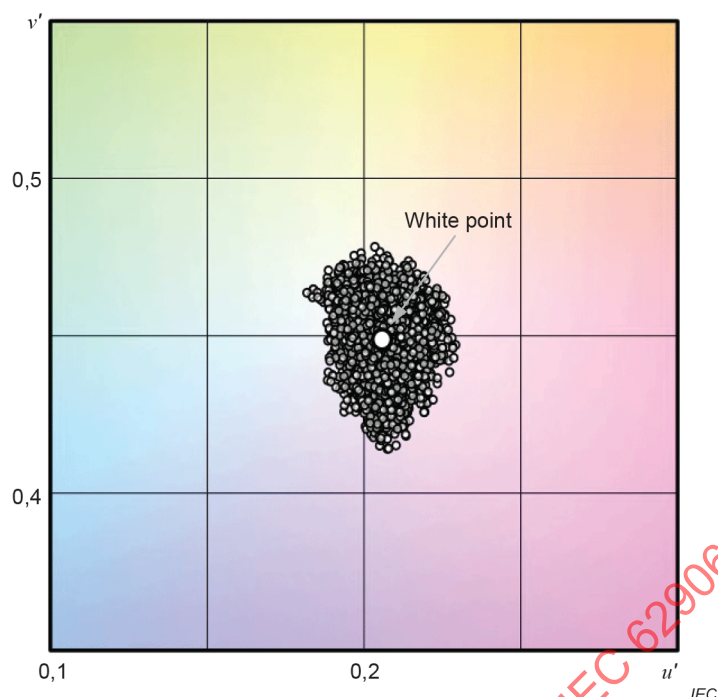


Figure 9 – Example of chromaticity distribution for the colour speckle observed in the uniform image region (CIE 1976 plot)

The edge regions of an image pattern of scanning laser displays are formed by the transient rise and fall of input signals of scanning laser beams. Colour speckle observed in the transient regions behaves in a more complicated manner than the conventional colour speckle observed in the uniform image region [11]. Colour speckle spreads along the locus of the dynamic variation of both illuminance and chromaticity, which is defined in 3.1.6 as dynamic colour speckle. (The chromaticity can vary due to nonlinear driving unoptimized among the R, G, B laser devices.)

Figure 10 shows an example of dynamic colour speckle in a period of grille pattern (CIE 1976 plot). A group of colour speckle data along a line parallel to the grille direction can spread around an average chromaticity point of the dynamic colour speckle. Data are plotted in the left-inserted graph of Figure 10. The average chromaticity values along the lines parallel to the grille direction are plotted in the centre-inserted graph of Figure 10. The average of illuminance distribution along the parallel lines is plotted for W, and each R, G, B colour in a period of line pairs is also plotted in the right-inserted graph of Figure 10. The average chromaticity values in the centre graph are linked to the corresponding average illuminance values. The average chromaticity and illuminance values imply the locus of the background transient variation of chromaticity and illuminance. The green shift at the left edge of the white signal and the red shift at the right edge occur because the RGB signals are not in phase as in the right graph of Figure 10.

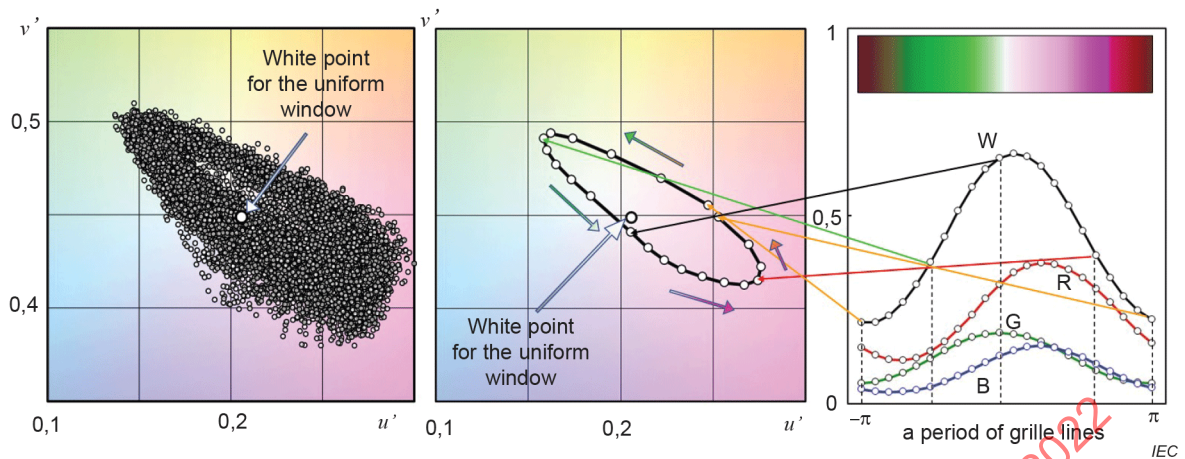


Figure 10 – Example of dynamic colour speckle in a period (CIE 1976 plot)

6.4 Non-uniformity/uniformity

6.4.1 General

The measurement of non-uniformity within the projected area is important particularly for the scanning laser displays because display signal pixels are virtually created by scanning a laser beam. For example, the horizontal scanning speed is faster around the centre and slower around the periphery for raster-scan laser displays. The modulation behaviour of the R, G, B laser beams also strongly affects the virtual pixels. Furthermore, speckle shows an angular dependence of the scanning beam [12], [13]. Speckle contrast becomes larger around the peripheries due to the slower scan speed of the laser beam.

6.4.2 Measurement points

The measurement points shall be thirteen points, adding the four corner points to the nine points, as in Figure 11 and Figure 12. The four corner points are important particularly for raster-scan laser displays. The scanning direction is switched back or the frame is reset by minimizing the scanning speed around the corner points. Transient behaviour affects the image quality or speckle-affected image quality. Such critical points should be added for other scanning schemes.

The setup layout in Figure 1, Figure 2 or Figure 3 shall be reported.

6.4.3 Measuring method

Non-uniformity of the fundamental performance of the DUT, such as R, G, B wavelengths, illuminance, or chromaticity shall be measured using the pattern shown in Figure 11.

The metrics of illuminance non-uniformity shall be as follows:

$$NU = \frac{E_{v-\max} - E_{v-\min}}{E_{v-\max}} \times 100 \text{ (%)}$$
(9)

$$U = (1 - NU) \times 100 \text{ (%)}$$
(10)

where

$E_{v-\max}$ and $E_{v-\min}$ are the maximum and the minimum illuminances among the thirteen measurement windows.

The non-uniformity of the R, G, B wavelengths shall be measured using Formula (9) by replacing the illuminance symbol with an appropriate symbol.

The metrics of chromaticity non-uniformity shall be $(\Delta u'v')_{\max}$, using the CIE 1976 UCS (uniform chromaticity scale) chromaticity coordinates (u', v') . The chromaticity difference between any two of the thirteen windows is expressed as:

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_i - u'_j)^2 + (v'_i - v'_j)^2} \quad (11)$$

where,

$i, j = 1 \text{ to } 13, i \neq j$.

The chromaticity non-uniformity is defined as the largest chromaticity difference, $(\Delta u'v')_{\max}$, which corresponds to the maximum value of Formula (11).

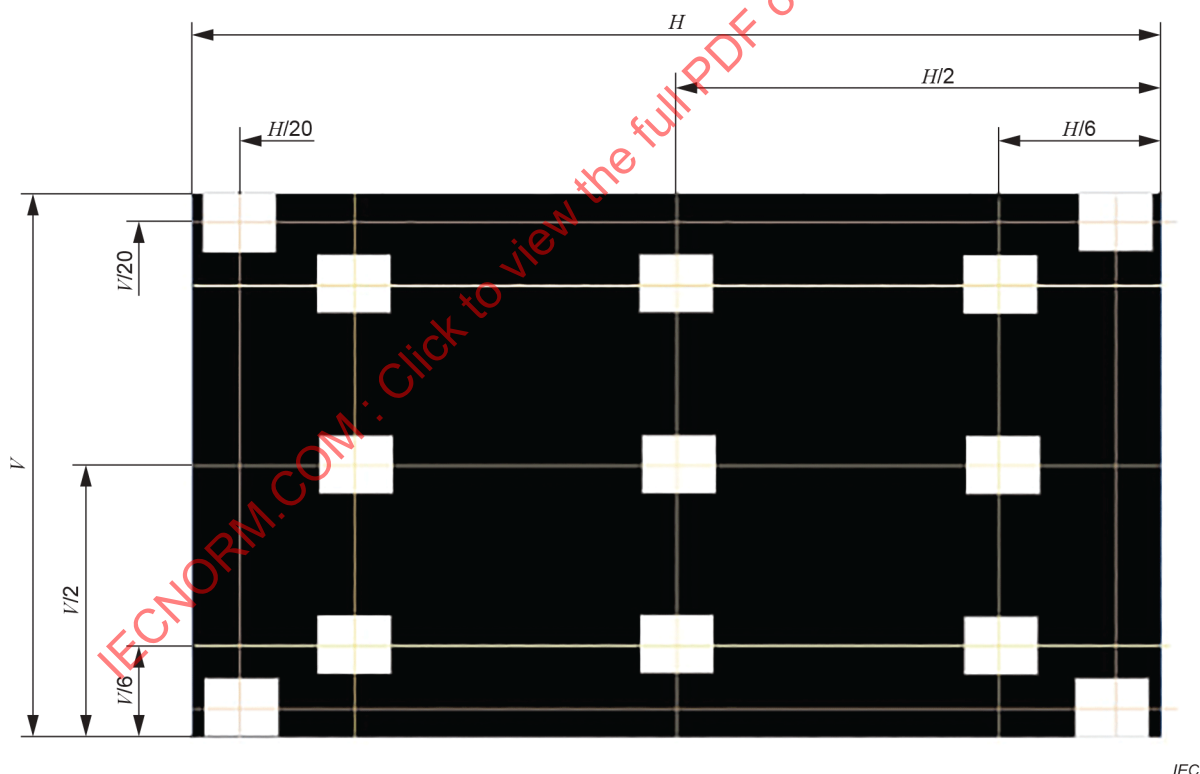


Figure 11 – Non-uniformity measurement positions (rectangular pattern)

Non-uniformity of R, G, B speckle contrast, photometric speckle contrast, or colour speckle distribution shall be measured using the setup layout in Figure 3. It is necessary for the speckle-related measurements to use a relatively wide rectangular window area because the statistical errors should be minimised. The statistical errors involving speckle depend on the speckle contrast of R, G, B colours, data sizes, and the measurement repeating times (see IEC 62906-5-4).

The non-uniformity of R, G, B speckle contrast, photometric speckle contrast colour, or speckle-affected image resolution shall be calculated by Formula (9) by replacing the illuminance symbol with an appropriate symbol.

The non-uniformity of speckle-affected image resolution shall be measured using the grille patterns illustrated in Figure 12.

In any case, the non-uniformity formula shall be reported. The data of the thirteen points should be reported.

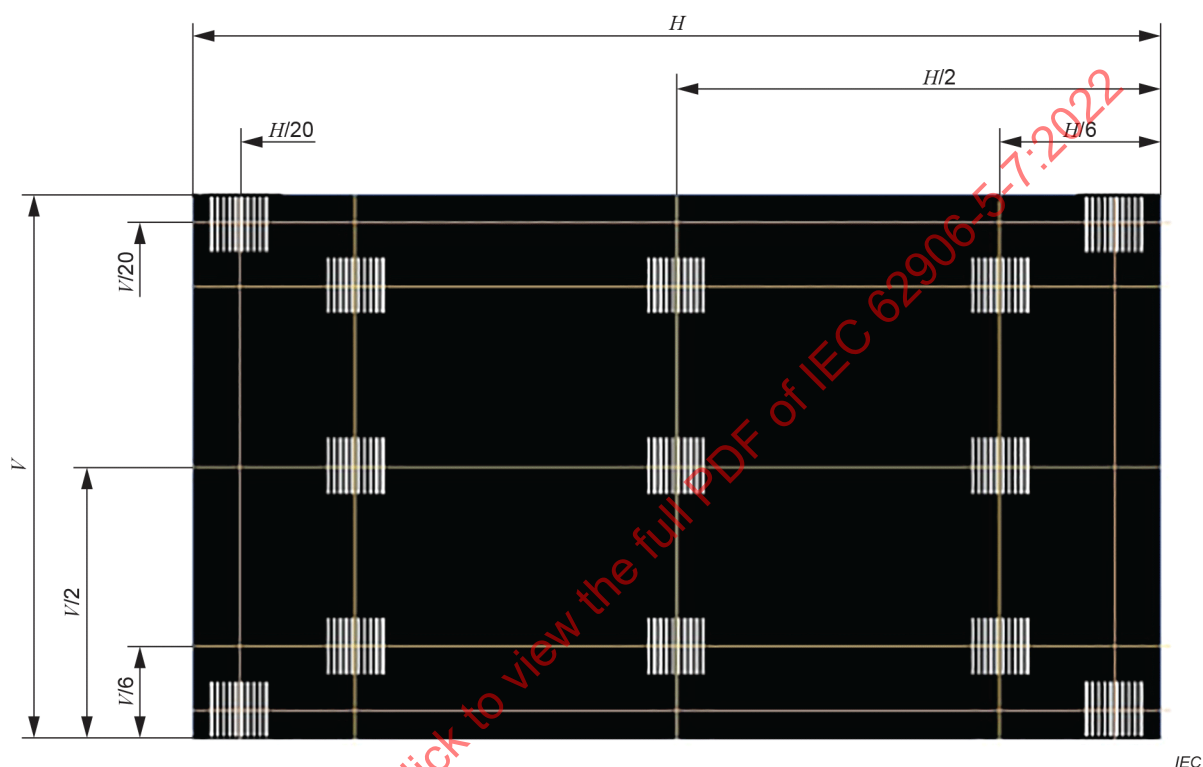


Figure 12 – Non-uniformity measurement positions (grille pattern)

Annex A (informative)

Spectral accuracy for keeping a specific chromaticity accuracy

A.1 General

Most LMDs are, in general, optimised for measuring spectra with a relatively wide wavelength range. However, the laser displays have very narrow spectral linewidths. Therefore, it is important to use LMDs capable of measuring such narrow linewidth spectra keeping colorimetric accuracy. Wavelength accuracy required for LMDs depends on the required colorimetric accuracy and the wavelength of the lasers. The wavelength accuracy to keep the chromaticity accuracy $< 0,001$ is calculated to ensure the validity of $\pm 0,3$ nm for the spectrometric LMDs listed in 4.5, as in IEC 62595-2-4 [1].

A.2 Calculated example of wavelength accuracy

The wavelength accuracy $\pm \delta$ is defined as the wavelength difference from the reference wavelength λ_r . The wavelength accuracy, $\delta \equiv |\lambda - \lambda_r|$ with an interval of 0,5 nm is tabulated in the range of $450 \text{ nm} \leq \lambda_r \leq 650 \text{ nm}$. CIE 1976 coordinates u' , v' are then calculated for the various values of the wavelength accuracy. The calculation is carried out by linear interpolation of the colour matching functions with the original interval of 1 nm into the 0,01 nm interval. The two curves of wavelength accuracy δ for keeping $|\Delta u'| = 0,001$ and $|\Delta v'| = 0,001$ are plotted with respect to λ_r in Figure A.1. The range of wavelength accuracy to keep $|\Delta u'|$, $|\Delta v'| < 0,001$ can be obtained as the regions below the two criteria curves. The peaks around 505 nm and 535 nm correspond to the non-sensitive locus positions of the CIE chromaticity diagram where the locus curves are tangential for u' and v' , respectively. For the blue colour around 460 nm, the green colour around 540 nm, and the red colour around 630 nm, a wavelength accuracy of $\pm 0,3$ nm is allowed.

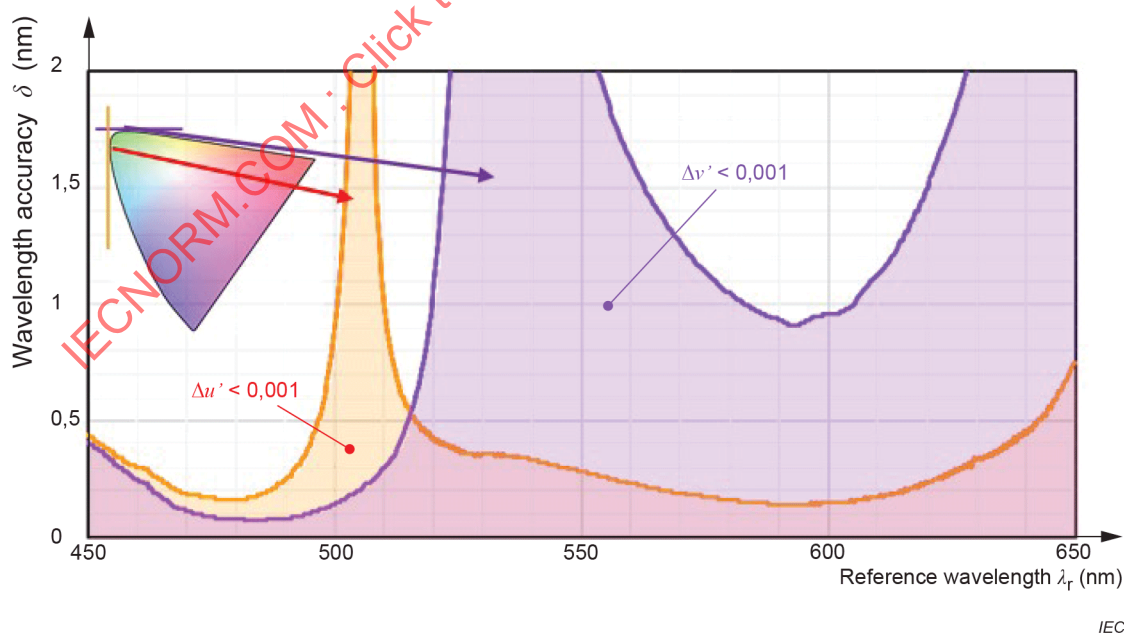


Figure A.1 – Calculated wavelength accuracy to keep $|\Delta u'|$, $|\Delta v'| < 0,001$

Annex B (informative)

Conventional contrast modulation (grille-pattern luminance contrast) for displays

The conventional contrast modulation (grille-pattern luminance contrast) C_M for general displays can be measured along a cross-line against the grille line direction.

The C_M is expressed as:

$$C_M = \frac{L_H - L_L}{L_H + L_L} \quad (\text{B.1})$$

where

L_H is the maximum of the measured luminance of the lighter position,

L_L is the minimum of the measured luminance of the darker position of the line-pair.

More accurately, the average value of C_M can be obtained by measuring repeatedly along the grille direction.

The measurements can be repeated by changing the grille line width as in Figure B.1. The C_M can then be plotted with respect to the grille line width. The image resolution (as the linewidth) can be obtained at the cross-point with the criterion of C_M as in Figure B.2. The criterion of $C_M = 0,5$ is used.

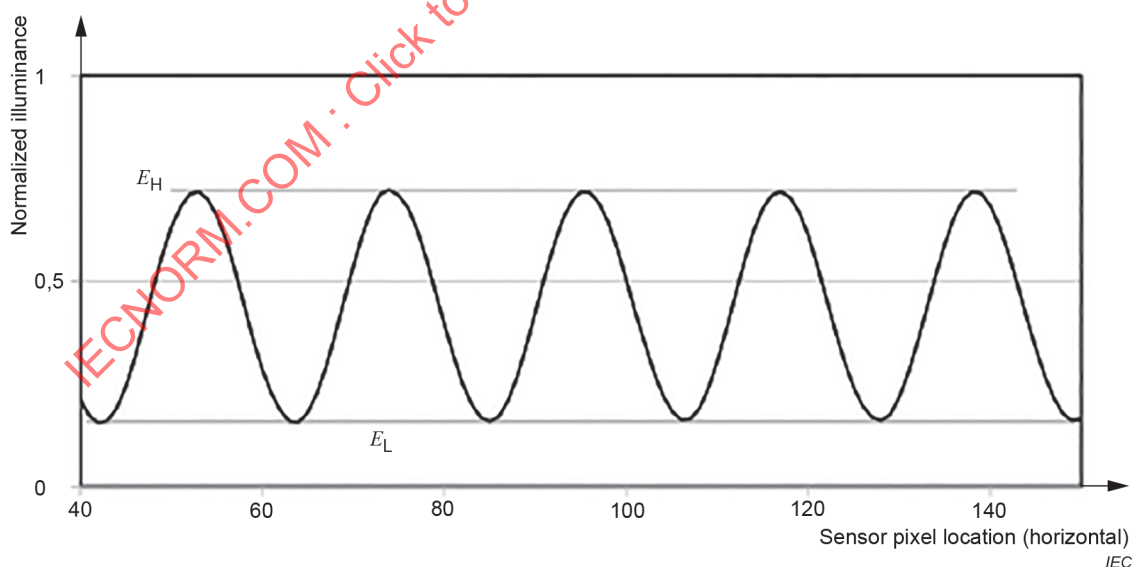


Figure B.1 – Example of the measured grille pattern

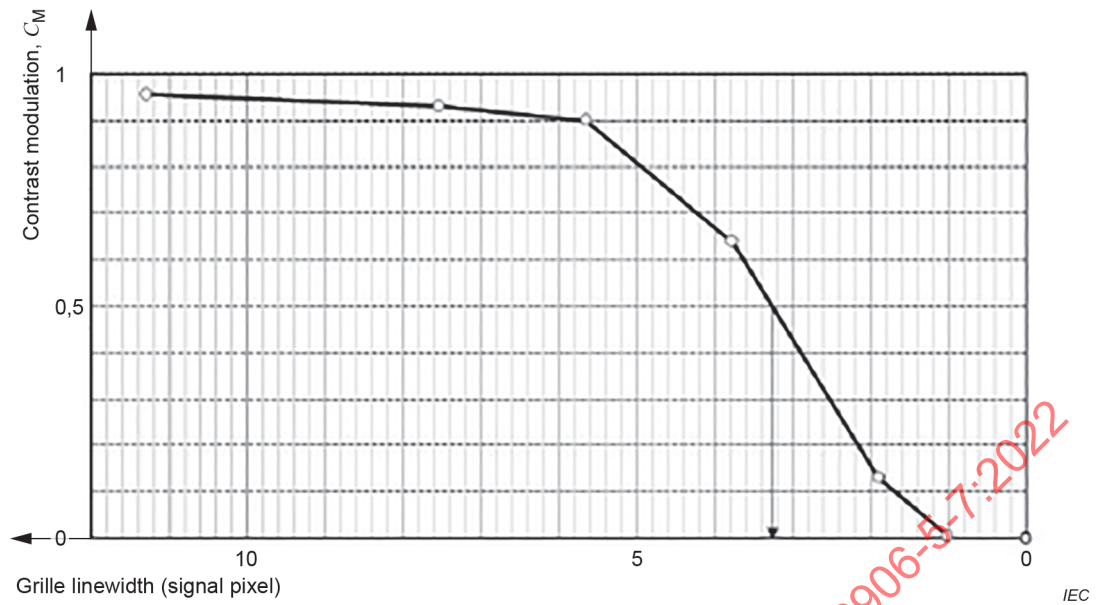


Figure B.2 – Example of C_M plot

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62906-5-7:2022

Annex C (informative)

Examples of speckle data for grille patterns

Examples of visualized 2D-captured data for R, G, B monochromatic speckle, and for colour speckle of additively-mixed white (W) are shown in Figure C.1. A grille pattern for resolution measurements is projected on the standard diffuse reflectance surface screen from a raster-scan mobile laser projector. The data-size is $350 \times 300 = 105\,000$. The W data are obtained by additive colour mixing of the B, G, R data by changing the filters of the 2D speckle measurement equipment [9], [10]. The wavelengths of R, G, B laser diodes are 445,4 nm, 518,5 nm, and 642,7 nm, respectively. The chromaticity of the colour W is $x = 0,303\,4$, and $y = 0,289\,0$. The R, G, B speckle contrasts are $C_{s-R} = 0,064$, $C_{s-G} = 0,042$, $C_{s-B} = 0,093$, and the photometric speckle contrast is $C_{ps} = 0,038$.

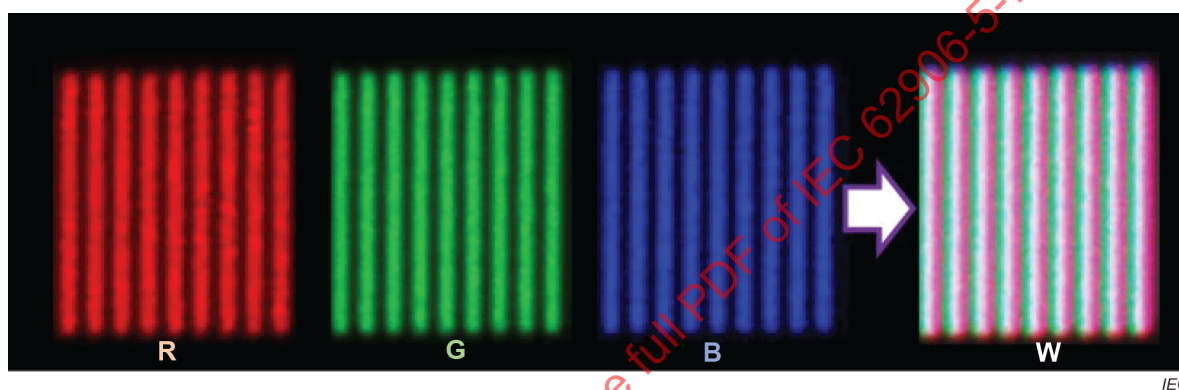
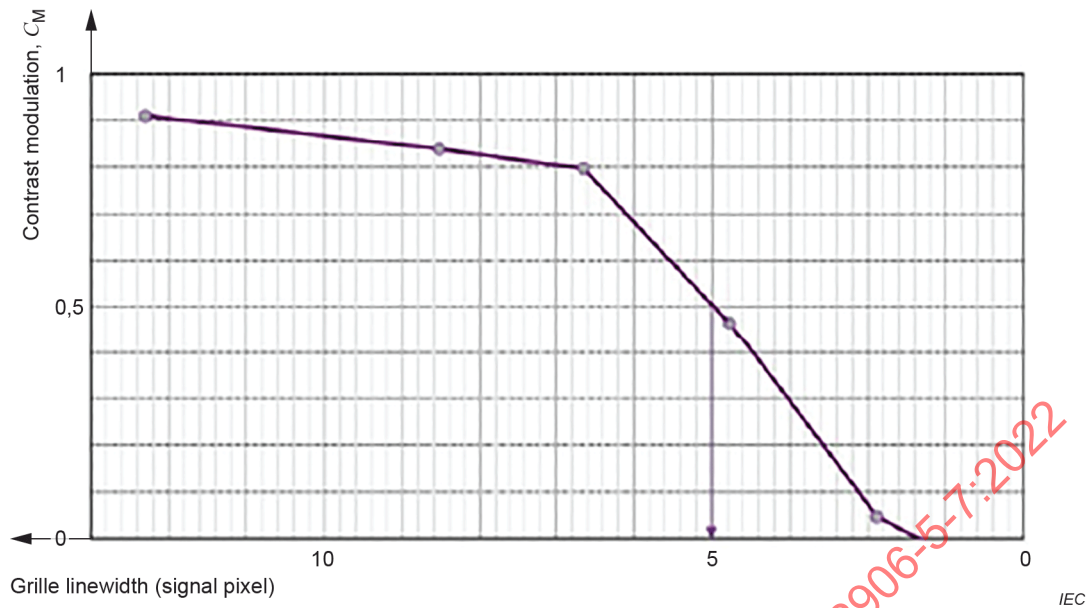


Figure C.1 – Example of visualized 2D-captured data for R, G, B monochromatic speckle, and for colour speckle of colour W (white)

The plot of $C_{M\text{-speckle}}$ under the effects of speckle is obtained using the method in 6.3, as shown in Figure C.2. The image resolution affected by speckle is calculated to be 3,9 signal pixels at $C_{M\text{-speckle}} = 0,5$.



NOTE The unit signal pixel specified in the DUT specifications is assumed.

Figure C.2 – Example of $C_{M\text{-speckle}}$ plot under the effects of speckle

Bibliography

- [1] IEC 62595-2-4, *Display lighting unit – Part 2-4: Electro-optical measuring methods of laser module*
- [2] K. Hieda, T. Maruyama, T. Takesako, F. Narusawa, “New method suitable for measuring chromaticity and photometric quantity of laser displays”, *Optical Review* 25 (1), 175-180, (2018)
- [3] CIE 233:2019, *Calibration, Characterization and Use of Array Spectroradiometers*
- [4] Y. Zong et al, “Simple spectral stray light correction method for array spectroradiometers”, *Applied Optics* 45, 1111-1119 (2006)
- [5] S. Kubota, “Simulating the human eye in measurements of speckle from laser-based projection displays”, *App. Opt.* 53(17), 3814-3820, (2014)
- [6] K. Kuroda, T. Ishikawa, M. Ayama, S. Kubota, “Color speckle”, *Optical Review* 21 (1), 83-89, (2014)
- [7] J. Kinoshita, K. Yamamoto, K. Kuroda, “Color speckle measurement errors using system with XYZ filters”, *Optical Review* 25 (1), 123-130, (2018)
- [8] IEC 62906-1-2, *Laser display devices – Part 1-2: Vocabulary and letter symbols*
- [9] K. Suzuki, S. Kubota, “Understanding the exposure-time effect on speckle contrast measurements for laser displays”, *Optical Review* 25 (1), 131-139, (2018)
- [10] J. Kinoshita, K. Yamamoto, A. Takamori, K. Kuroda, K. Suzuki, “Visual resolution of raster-scan laser mobile projectors under effects of color speckle”, *Optical Review* 26 (1), pp.187-200, (2019)
- [11] J. Kinoshita, A. Takamori, K. Yamamoto, K. Kuroda, K. Suzuki, “Color shift behavior at image pattern edges of raster-scan RGB mobile laser projectors”, *The 10th Laser Display and Lighting Conference 2021, LDC-5-04, LDC 2021 abstract book, SPIE digital library*, (2021)
- [12] M. Kurashige, K. Ishida, S. Kubota, “Viewing-Angle Characteristics of Speckle Contrast among Different Types of Screens”, *Proceedings of the International Display Workshop*, 24, PRJ2-4, (2017)
- [13] J. Kinoshita, A. Takamori, K. Yamamoto, K. Kuroda, K. Suzuki, K. Hieda, “Speckled Image Resolution Measured in Nine Regions on Screen using Raster-scan RGB Laser Mobile Projector”, *Proceedings of The International Display Workshops*, Vol.27, PRJ6-3, (2020)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	39
2 Références normatives	39
3 Termes, définitions, termes abrégés, et symboles littéraux	39
3.1 Termes et définitions	39
3.2 Termes abrégés	40
3.3 Symboles littéraux	41
4 Conditions de mesure normalisées	42
4.1 Généralités	42
4.2 Conditions d'environnement normalisées	42
4.3 Conditions de chambre noire normalisées	42
4.4 Conditions normalisées du DUT	42
4.5 Exigences normalisées des LMD.....	42
4.6 Exigences en matière d'écran	44
5 Montage de mesure et système de coordonnées normalisés	44
5.1 Montage de mesure direct.....	44
5.2 Mesurage normalisé du facteur de réflexion diffuse	45
5.3 Mesurage en plein écran.....	46
6 Méthodes de mesure	47
6.1 Mesurages de longueurs d'onde/spectres et photométriques/colorimétriques.....	47
6.2 Contraste de tacheture monochromatique et tacheture de couleurs	49
6.2.1 Généralités	49
6.2.2 Analyse du bruit de tacheture	49
6.2.3 Procédure de mesure	50
6.3 Résolution de l'image affectée par la tacheture	51
6.3.1 Motifs en grille	51
6.3.2 Modulation de contraste (contraste de motif en grille) sous les effets de tacheture	52
6.3.3 Procédure de mesure	54
6.3.4 Tacheture de couleurs et tacheture dynamique de couleurs.....	55
6.4 Non-uniformité/uniformité	57
6.4.1 Généralités	57
6.4.2 Points de mesure.....	57
6.4.3 Méthode de mesure	57
Annexe A (informative) Exactitude spectrale permettant de maintenir une exactitude de chromaticité spécifique	60
A.1 Généralités	60
A.2 Exemple de calcul de l'exactitude de la longueur d'onde.....	60
Annexe B (informative) Modulation classique de contraste (contraste de luminance de motif en grille) pour les affichages	61
Annexe C (informative) Exemples de données de tacheture pour les motifs en grille	63
Bibliographie.....	65

Figure 1 – Montage et système de coordonnées pour les mesurages directs de l'éclairement lumineux 45

Figure 2 – Montage et système de coordonnées pour les mesurages normalisés du facteur de réflexion diffuse.....	46
Figure 3 – Montage et système de coordonnées pour les mesurages en plein écran.....	46
Figure 4 – Exemple de spectres de lasers RVB en mode longitudinal unique	47
Figure 5 – Exemple d'un spectre en modes longitudinaux multiples	48
Figure 6 – Motifs en grille dans les directions horizontale et verticale	51
Figure 7 – Données mesurées du motif en grille tacheté et des lignes dans la direction de la grille.....	53
Figure 8 – Représentation en diagramme de l'œil de la distribution de l'éclairement lumineux normalisé de la tacheture	54
Figure 9 – Exemple de distribution de la chromaticité pour la tacheture de couleurs observée dans la région uniforme de l'image(graphique CIE 1976)	56
Figure 10 – Exemple de tacheture dynamique de couleurs dans une période (graphique CIE 1976).....	57
Figure 11 – Positions de mesure de la non-uniformité (motif rectangulaire).....	58
Figure 12 – Positions de mesure de la non-uniformité (motif en grille).....	59
Figure A.1 – Exactitude de la longueur d'onde calculée pour maintenir $ \Delta u' $, $ \Delta v' $ $< 0,001$	60
Figure B.1 – Exemple de motif en grille mesuré	61
Figure B.2 – Exemple de courbe C_M	62
Figure C.1 – Exemple de données enregistrées visualisées en 2D pour la tacheture monochromatique R, V, B, et pour la tacheture de couleurs de la couleur W (blanc).....	63
Figure C.2 – Exemple de courbe $C_{M\text{-speckle}}$ sous l'effet de la tacheture.....	64
Tableau 1 – Symboles littéraux (symboles de grandeurs/symboles d'unités).....	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AFFICHAGES LASER –

**Partie 5-7: Méthodes de mesure de la qualité d'image affectée
par la tacheture pour les affichages laser à balayage**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 62906-5-7 a été établie par le comité d'études 110 de l'IEC: Affichages électroniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
110/1366/FDIS	110/1390/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62906, publiées sous le titre général *Affichages laser*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62906-5-7:2022

INTRODUCTION

Les affichages laser à balayage de faisceau présentent des caractéristiques spécifiques qui sont très différentes des affichages laser plein cadre (FF - *full-frame*) utilisant un modulateur spatial de lumière (SLM - *spatial light modulator*) et d'autres affichages électroniques.

L'image des affichages laser à balayage de faisceau est généralement projetée sur un écran plan ou courbe. Cette projection ne concerne pas les affichages laser à balayage qui excitent ou pompent des couches de luminophores pleines ou à motifs sur un écran distinct. Les pixels d'image sont théoriquement créés par la modulation à grande vitesse d'un faisceau laser à balayage combinant au moins les faisceaux de couleurs primaires R, V, B, ce qui est parfois appelé "spot mobile". L'image formée sur l'écran peut présenter un flou spatiotemporel supplémentaire et des irrégularités par rapport aux affichages avec des modulateurs spatiaux de lumière. Par conséquent, pour mesurer la qualité de l'image projetée sur l'écran, le mécanisme de balayage dynamique, même pour les images fixes, est envisagé.

En outre, la tacheture affecte grandement la qualité de l'image car un motif de tacheture est produit sur la rétine par l'interférence des lumières laser cohérentes ou partiellement cohérentes diffusées sur l'écran. Contrairement aux autres affichages laser, il est plus difficile pour les affichages laser à balayage de faisceau de réduire les effets de tacheture. En effet, certaines techniques efficaces de réduction de la tacheture, telles que les diffuseurs mobiles et le compoundage angulaire, ne sont pas applicables à un faisceau laser. La tacheture affecte donc davantage les mesurages d'éclairement lumineux, de chromaticité et de résolution. Autrement dit, les effets de tacheture dominent plus dans ce type d'affichages et il est donc nécessaire d'utiliser un appareil de mesure de la lumière conçu pour les mesurages sous l'effet de tacheture.

La qualité d'image affectée par la tacheture des affichages laser à balayage dépend fortement des propriétés optiques du faisceau laser (par exemple, la vitesse de balayage, l'angle de balayage, la modulation signal-image et la tacheture). L'IEC 62595-2-4 [1]¹ spécifie de manière détaillée les méthodes de mesure du faisceau laser émis par les modules laser.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

AFFICHAGES LASER –

Partie 5-7: Méthodes de mesure de la qualité d'image affectée par la tacheture pour les affichages laser à balayage

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62906 spécifie les conditions de mesure normalisées et les méthodes pour déterminer la qualité des images projetées par un affichage laser à balayage sur un écran de lumière visible libre de toute fluorescence, les images observées étant affectées par le bruit de tacheture dû à la cohérence du laser.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

IEC 62471 (toutes les parties), *Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes*

IEC 62906-5-2, *Laser display devices – Part 5-2: Optical measuring methods of speckle contrast* (disponible en anglais seulement)

IEC 62906-5-4, *Laser display devices – Part 5-4: Optical measuring methods of colour speckle* (disponible en anglais seulement)

IEC 62906-5-6, *Laser displays – Part 5-6: Measuring methods for optical performance of projection screens* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions, termes abrégés, et symboles littéraux

3.1 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

affichage laser à balayage

affichage laser capable de projeter une image sur un écran plan ou courbe en balayant spatialement un ou plusieurs faisceaux laser

3.1.2

affichage laser à balayage tramé

affichage laser capable de projeter une image sur un écran plan ou courbe en balayant ligne par ligne un ou plusieurs faisceaux laser

3.1.3

affichage laser FF

affichage laser plein cadre

affichage laser capable de projeter une image sur un écran par le biais d'un ou de plusieurs modulateurs spatiaux de lumière utilisant une ou plusieurs sources de lumière, y compris des lasers

Note 1 à l'article: L'abréviation "FF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "*full-frame*".

3.1.4

qualité de l'image affectée par la tacheture

attributs de l'image particulièrement affectés par la tacheture, captés par l'œil humain et décrits par les propriétés optiques à dépendance spatiale, le contraste spatial, le bruit spatial et sa distribution spatiale, chacun de ces éléments variant en fonction des couleurs d'entrée

3.1.5

résolution de l'image affectée par la tacheture

résolution de l'image particulièrement affectée par la tacheture, captée par l'œil humain et décrite par les propriétés optiques à dépendance spatiale, le contraste spatial, le bruit spatial et sa distribution spatiale, chacun de ces éléments variant en fonction des couleurs d'entrée, mesurées séparément pour les différentes directions

3.1.6

tacheture dynamique de couleurs

<d'un affichage laser à balayage>

tacheture de couleurs observée dans les zones périphériques d'un motif d'image lors des variations de niveaux du signal d'entrée d'un faisceau laser à balayage

3.1.7

multimètre laser

appareil de mesure de la lumière fondé sur des méthodes non spectrométriques utilisant des filtres absorbants à rampes de longueur d'onde linéaires, capable de mesurer la longueur d'onde du centroïde et la puissance optique des sources de lumière laser fonctionnant en mode longitudinal simple ou multiple, à partir duquel les composantes trichromatiques XYZ sont calculées pour dériver des grandeurs colorimétriques et photométriques à l'aide des fonctions colorimétriques de la CIE

Note 1 à l'article: Voir [2].

3.1.8

appareil de mesure de longueur d'onde

appareil de mesure de la lumière fondé sur le principe de l'interférence, utilisé pour mesurer avec précision les longueurs d'onde des appareils à laser

3.1.9

spectromètre à transformée de Fourier

appareil de mesure de la lumière fondé sur le principe de l'interférence, dans lequel la longueur d'une cavité est balayée dans le temps, calculant le spectre par transformation de Fourier des données brutes enregistrées dans le domaine temporel

3.2 Termes abrégés

DUT	device under test (dispositif en essai)
LD	laser diode (diode laser)
LMD	light measuring device (appareil de mesure de la lumière)
MTF	modulation transfer function (fonction de transfert de modulation)
ND	neutral density (densité neutre)
NF	noise factor (facteur de bruit)
RVB	rouge, vert, bleu
RMS	root mean square (valeur efficace)
SLM	spatial light modulator (modulateur spatial de lumière)

SNR signal to noise ratio (rapport signal-bruit)

W white colour (couleur blanche)

3.3 Symboles littéraux

Les symboles littéraux sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux (symboles de grandeurs/symboles d'unités)

Distance entre l'écran et le DUT	D_1	m
Distance entre l'écran et le LMD (tacheture, luminance)	D_2	m
Angle d'azimut	ϕ	degré
Angle entre l'axe optique du DUT et le LMD	$\Delta\theta$	degré
Coordonnées cartésiennes sur l'écran proprement dit ou sur l'écran virtuel	x, y, z	
Indice désignant les couleurs primaires, R, V, B	Q	-
Puissance optique de sortie	P	W
Puissance optique de sortie des couleurs primaires	P_Q	W
Eclairement énergétique	E_e	W/m ²
Eclairement énergétique des couleurs primaires	E_{e-Q}	W/m ²
Eclairement lumineux	E_v	lm/m ²
Eclairement lumineux des couleurs primaires	E_{v-Q}	lm/m ²
Luminance énergétique des couleurs primaires	L_Q	W/sr/m ²
Longueur d'onde	λ	nm
Longueur d'onde des couleurs primaires	λ_Q	nm
Longueur d'onde du centroïde	λ_c	nm
Longueur d'onde de référence	λ_r	nm
Différence de longueur d'onde	δ	nm
Composantes trichromatiques CIE	X, Y, Z	-
Fonctions colorimétriques de la CIE	$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$	-
Coordonnées CIE 1931	x, y	-
Coordonnées CIE 1976	u', v'	-
Valeur efficace de l'éclairement lumineux	E_{v-rms}	lm/m ²
Contraste de tacheture monochromatique des couleurs primaires	C_{s-Q}	-
Contraste photométrique de tacheture	C_{ps}	-
Modulation de contraste, contraste de luminance de motif en grille pour les affichages conventionnels	C_M	-
Modulation de contraste, contraste de motif en grille (moyenne)	C_{M-ave}	-
Modulation de contraste, contraste de motif en grille (tacheté)	$C_{M-speckle}$	-
Eclairement lumineux le long d'une ligne à la limite locale maximale ou minimale utilisée dans le calcul de $C_{M-speckle}$	E_{v-H}, E_{v-L}	lm/m ²
Eclairement lumineux moyen le long d'une ligne à la limite locale maximale ou minimale utilisée dans le calcul de $C_{M-speckle}$	$\bar{E}_{v-H}, \bar{E}_{v-L}$	lm/m ²

Luminance le long d'une ligne à la limite locale maximale ou minimale utilisée dans le calcul de C_M	L_H, L_L	lm
Non-uniformité	NU	%
Uniformité	U	%
Eclairement lumineux maximal ou minimal des treize fenêtres pour le mesurage de la non-uniformité	$E_{v-max} E_{v-min}$	lm/m ²
Différence de chromaticité CIE 1976	$\Delta u' v'$	-
Différence de chromaticité maximale des treize fenêtres pour le mesurage de la non-uniformité	$(\Delta u' v')_{max}$	-

4 Conditions de mesure normalisées

4.1 Généralités

Sauf indication contraire, les conditions suivantes doivent s'appliquer.

Les mesurages doivent être effectués conformément à la réglementation sur la sécurité laser de l'IEC 60825-1 pour les appareils de classe supérieure à la Classe 2M, et/ou conformément à l'IEC 62471 (toutes les parties) pour les groupes de risques RG2 et RG3.

4.2 Conditions d'environnement normalisées

Les mesurages doivent être effectués dans les conditions d'environnement normalisées suivantes:

- température: 25 °C ± 3 °C;
- humidité relative: 25 % à 85 %;
- pression: 86 kPa à 106 kPa.

Lorsque des conditions d'environnement différentes sont utilisées, elles doivent être consignées dans le rapport.

4.3 Conditions de chambre noire normalisées

L'éclairement lumineux de fond de la chambre noire normalisée doit être inférieur à 0,01 lx.

NOTE L'éclairement lumineux maximal dépend de la direction du LMD.

4.4 Conditions normalisées du DUT

Les mesurages doivent démarrer après que le DUT s'est stabilisé, en conservant le même mode de fonctionnement. Le mode de fonctionnement du DUT doit être consigné dans le rapport. La stabilité doit être réalisée lorsque la puissance de sortie du DUT varie de ±3 % sur toute la durée de mesure.

4.5 Exigences normalisées des LMD

Les LMD doivent présenter les caractéristiques suivantes:

- a) appareil de mesure de la puissance optique;
 - exactitude: ±5 %
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
- b) appareil de mesure de l'éclairement énergétique spectrique;
 - exactitude de la longueur d'onde: ±0,3 nm
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - largeur de bande spectrale: ≤ 5 nm

- c) appareil de mesure de la luminance énergétique spectrique;
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - largeur de bande spectrale: ≤ 5 nm

- d) appareil de mesure de l'éclairement lumineux équipé d'un filtre;
 - étalonné par le spectroradiomètre

NOTE 1 Il est utilisé pour le montage représenté à la Figure 1.

- e) luminancemètre à filtre;
 - étalonné par le spectroradiomètre

NOTE 2 Il est utilisé pour le montage représenté à la Figure 2 ou à la Figure 3.

- f) colorimètre à filtre;
 - étalonné par le spectroradiomètre
- g) appareil de mesure de la longueur d'onde;
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm
- h) multimètre laser;
 - étalonné par le spectroradiomètre
 - plage de longueurs d'onde: couvrant les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm

- i) spectroradiomètre;
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm
 - largeur de bande spectrale: ≤ 5 nm
 - L'intérieur de la lumière parasite spectrale: doit être corrigé

NOTE 3 Pour l'étalonnage des spectroradiomètres à matrice, voir [3], [4].

- j) spectromètre à transformée de Fourier;
 - plage spectrale: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm
 - largeur de bande spectrale: ≤ 1 nm
- k) analyseur de spectre optique;
 - plage de longueurs d'onde: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - exactitude de la longueur d'onde: $\pm 0,3$ nm
 - largeur de bande spectrale: $\leq 0,1$ nm

NOTE 4 L'analyseur de spectre optique est surtout utilisé pour analyser avec précision la structure spectrale des modes longitudinaux des appareils à laser.

- l) appareil de mesure de la tacheture (compteur de tacheture).
 - les exigences fondamentales doivent être conformes à l'IEC 62906-5-2 et à l'IEC 62906-5-4.
 - plage de longueurs d'onde: couvrant au moins les longueurs d'onde des lasers R, V, B
 - synchronisé avec le signal de rafraîchissement de l'image du DUT pour éviter les erreurs de mesure dues à un balayage d'image non terminé

NOTE 5 Les motifs de taches R, V, B sont obtenus en utilisant des filtres R, V, B étalonnés. Lorsque les filtres XYZ sont utilisés, un étalonnage plus soigneux est effectué.

Les LMD doivent avoir une sensibilité et une plage dynamique suffisantes pour obtenir des résultats de mesure exacts. En d'autres termes, le LMD doit pouvoir mesurer avec exactitude jusqu'au maximum absolu des caractéristiques assignées du DUT. Toutefois, un filtre ND étalonné ou d'autres dispositifs optiques étalonnés doivent être utilisés lorsque le LMD est saturé par une sortie optique trop importante du DUT.

En cas d'utilisation d'un LMD aux performances différentes, ses spécifications doivent être consignées dans le rapport.

Les filtres optiques utilisés dans les LMD doivent être convenablement étalonnés.

Les spectres d'émission laser sont très étroits, et leurs coordonnées chromatiques sont presque sur le lieu de la longueur d'onde des diagrammes de chromaticité. L'exactitude de la chromaticité est donc sensible à la longueur d'onde. La courbure du lieu de longueur d'onde à la longueur d'onde du laser affecte grandement l'exactitude de la chromaticité. L'exactitude de la longueur d'onde de $\pm 0,3$ nm, spécifiée aux points b), c), g), h), i), j) et k) ci-dessus, est une valeur pratique qui est surtout commune aux mesurages d'affichage conventionnels. Pour maintenir une valeur donnée de l'exactitude de la chromaticité à une longueur d'onde spécifique, l'exactitude de la longueur d'onde doit être évaluée [1]. Des exemples de courbes d'exactitude de la longueur d'onde pour différentes longueurs d'onde visibles sont présentés à l'Annexe A.

4.6 Exigences en matière d'écran

Pour les mesurages utilisant un écran de grande taille, un petit écran ou plusieurs petits écrans, les matériaux de l'écran doivent être le blanc étalon de surface à réflexion diffuse lambertienne. Ils doivent être fixés par des moyens mécaniques afin d'éviter tout effet de réduction du flou ou de la tacheture causé par un mouvement involontaire. L'écran doit avoir des valeurs de facteur de réflexion diffuse lambertienne supérieures à 98 % et inférieures à 102 % au moins pour les longueurs d'onde RVB. Sinon, les spécifications de l'écran relatives au gain d'écran (par exemple, la caractéristique de l'angle de vision, le gain de crête, l'angle demi-gain) doivent être indiquées (voir l'IEC 62906-5-6). La distance de projection qui sépare le DUT et l'écran, la direction de projection, le mode de visualisation, la hauteur et l'angle incliné du montage doivent être consignés (voir la Figure 3).

NOTE Les propriétés de diffusion et la réflectance spectrale de l'écran affectent les résultats de mesure.

5 Montage de mesure et système de coordonnées normalisés

5.1 Montage de mesure direct

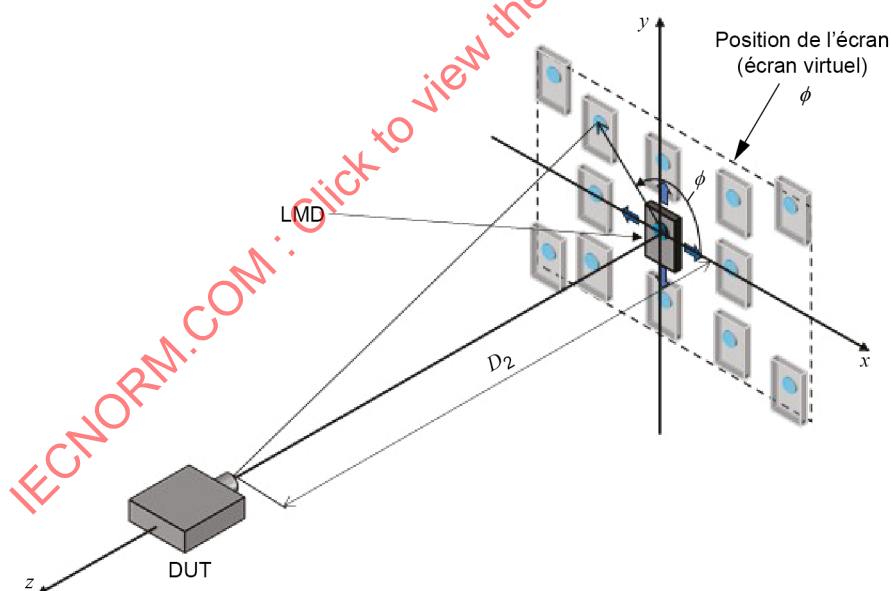
Les propriétés fondamentales du DUT, telles que les longueurs d'onde/spectres R, V, B, l'éclairement énergétique R, V, B, l'éclairement lumineux R, V, B, l'éclairement lumineux et la chromaticité des couleurs RVB, ainsi que leur non-uniformité, doivent être mesurées avec exactitude et ne doivent pas être affectées par le comportement de l'écran et de la tacheture. Ceci implique que la tacheture et la résolution ne doivent pas être mesurées directement. Dans cette méthode, les éléments ci-dessus peuvent être mesurés en plaçant un LMD à l'une des positions sur un écran virtuel à laquelle les mesurages d'écran sont par hypothèse effectués. Le LMD peut être déplacé le long de l'écran virtuel d'une position à l'autre.

Le montage comprenant le système de coordonnées pour les mesurages directs est représenté à la Figure 1. Par hypothèse, l'axe de projection du DUT coïncide avec l'axe z perpendiculaire au centre de la zone de projection sur l'écran virtuel (l'origine du plan x - y). Lorsque l'axe de projection est incliné par rapport à l'écran virtuel et que la zone de projection est étalonnée, l'angle d'inclinaison β doit être ajouté à la Figure 1, comme cela est indiqué dans l'IEC 62906-5-6. Lorsque l'écran virtuel est incurvé et que la zone de projection est étalonnée, la courbure doit être ajoutée à la Figure 1. Le LMD doit avoir une ouverture plus grande que le diamètre du faisceau incident. Plusieurs LMD peuvent être préparés et placés à toutes les positions de mesure, à titre de montage alternatif, pour réaliser des mesurages simultanés. Dans ce cas, tous les LMD doivent être étalonnés pour réduire le plus possible l'erreur instrumentale.

5.2 Mesurage normalisé du facteur de réflexion diffuse

Un autre montage comprenant le système de coordonnées pour mesurer les longueurs d'onde/spectres R, V, B, la luminance énergétique R, V, B, la tacheture monochromatique/de couleurs ou leur non-uniformité en utilisant un petit étalon de blanc de réflexion diffuse est représenté à la Figure 2. Le petit étalon de blanc de réflexion diffuse spécifié en 4.6 doit être utilisé et fixé solidement à l'une des positions de l'écran virtuel. Le petit étalon de réflexion diffuse peut être déplacé le long de l'écran virtuel d'une position à l'autre, ou plusieurs petits étalons de réflexion diffuse peuvent être préparés et placés à toutes les positions. Le montage représenté à la Figure 2 peut également être utilisé à la place du mesurage en plein écran de la Figure 3 si l'écran blanc étalon de grande taille à facteur de réflexion diffuse n'est pas disponible ni rentable.

Les valeurs de luminance énergétique mesurées au niveau du faible facteur de réflexion diffuse doivent être converties en éclairement énergétique. La luminance énergétique doit être mesurée perpendiculairement à l'étalon de réflexion diffuse. Cependant, le DUT se trouve parfois dans le champ de vision du LMD, ou le LMD propage parfois son ombre dans la zone de projection parce que le DUT et le LMD sont installés du même côté. Pour éviter ce problème, l'angle du LMD peut être légèrement écarté de l'axe optique du DUT habituellement perpendiculaire à l'écran virtuel. La différence angulaire entre eux est indiquée par $\Delta\theta$ à la Figure 2. Elle doit être maintenue faible pour que l'erreur de mesure de la luminance énergétique soit négligeable ou la valeur de la luminance énergétique mesurée doit être étalonnée. La lumière cohérente ou partiellement cohérente diffusée sur l'étalon de réflexion provoque une tacheture. Par conséquent, la reproductibilité du mesurage de la luminance énergétique doit être confirmée. Pour le mesurage de la tacheture, la taille du faible facteur de réflexion diffuse ou la zone de mesure du contraste de tacheture doit être optimisée en prenant en considération la taille des données 2D enregistrées par l'appareil de mesure de la tacheture ou le nombre de répétitions du mesurage, comme dans l'analyse statistique des erreurs décrite dans l'IEC 62906-5-4.



IEC

Figure 1 – Montage et système de coordonnées pour les mesurages directs de l'éclairement lumineux

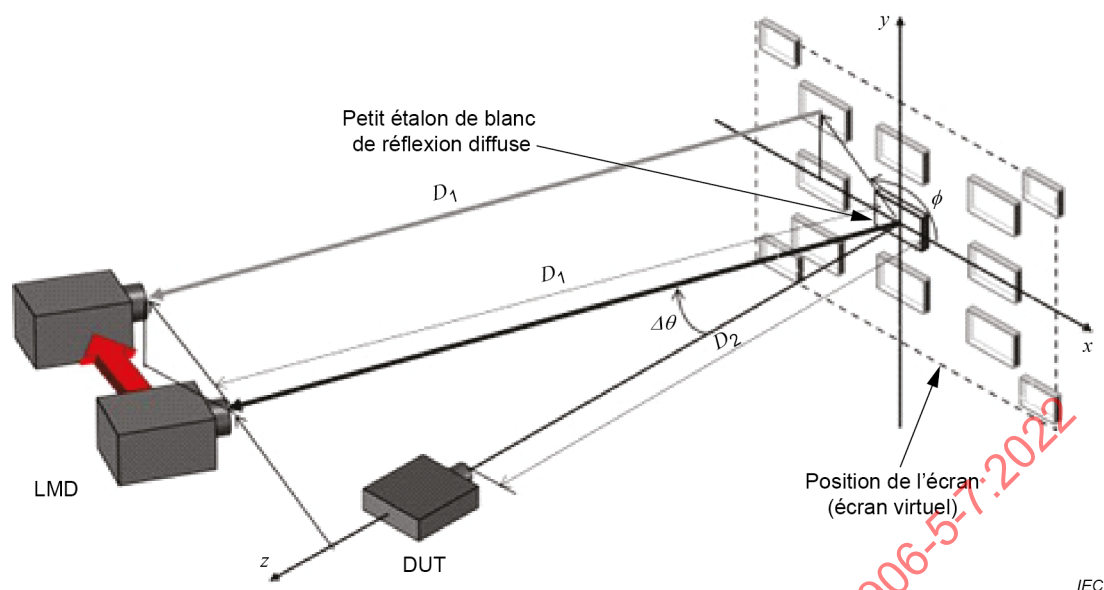


Figure 2 – Montage et système de coordonnées pour les mesures normalisées du facteur de réflexion diffuse

5.3 Mesurage en plein écran

Le montage de mesure, y compris le système de coordonnées pour les mesures utilisant un écran de grande taille, est représenté à la Figure 3. Ce dispositif doit être utilisé pour mesurer les longueurs d'onde/spectres R, V, B, la luminance énergétique R, V, B, la tacheure monochromatique/de couleurs et leur non-uniformité. L'écran blanc étalon de surface à réflexion diffuse lambertienne spécifié en 4.6 doit être utilisé comme écran de grande taille. Les dispositions du 5.2 doivent être appliquées, à l'exception de l'utilisation de l'écran de grande taille.

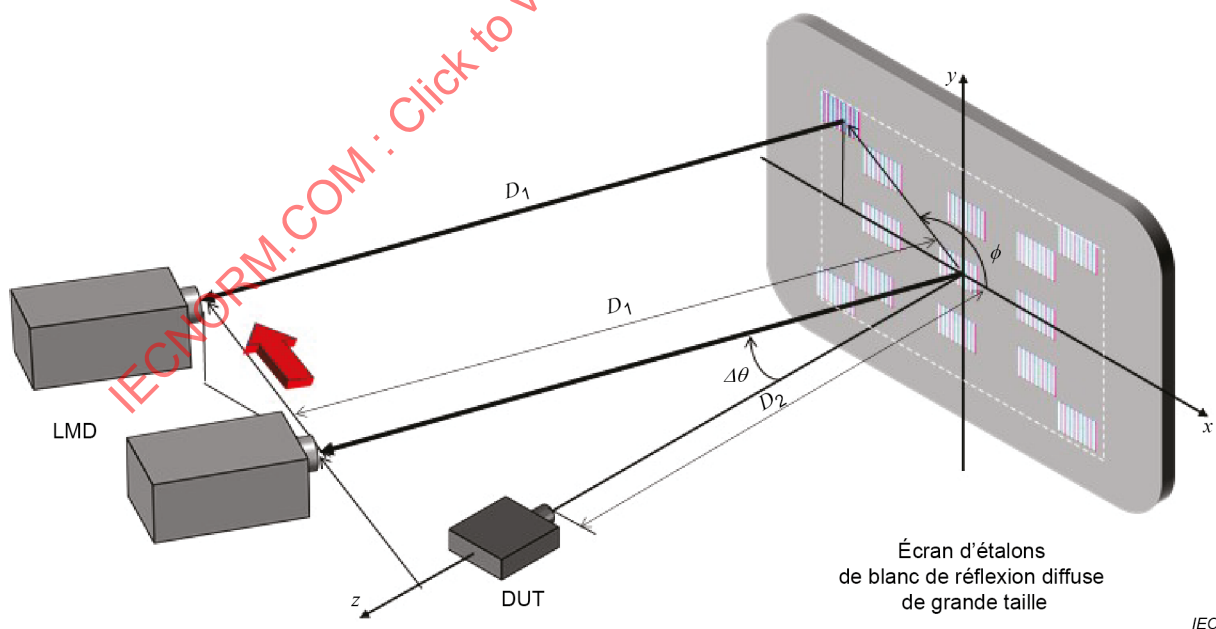


Figure 3 – Montage et système de coordonnées pour les mesures en plein écran

6 Méthodes de mesure

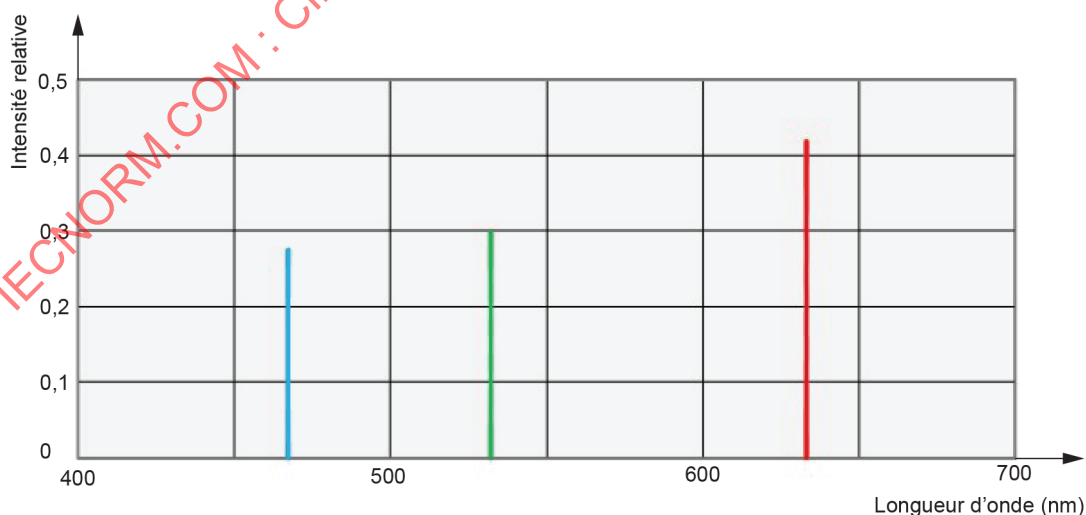
6.1 Mesurages de longueurs d'onde/spectres et photométriques/colorimétriques

Les spectres doivent être mesurés à l'aide d'un spectroradiomètre, d'un spectromètre à transformée de Fourier ou d'un analyseur de spectre. Les longueurs d'onde doivent être mesurées à l'aide d'un appareil de mesure de longueur d'onde ou d'un multimètre laser. Le LMD doit être installé à la position indiquée à la Figure 1, Figure 2, ou Figure 3.

De nombreux affichages laser à balayage utilisent des appareils à laser R, V, B en modes transversaux/longitudinaux uniques avec une largeur de raie très étroite, bien inférieure à 1 nm. Chacun des spectres R, V, B peut être représenté par une seule valeur de longueur d'onde. La Figure 4 présente un exemple des spectres R, V, B.

Certains affichages laser à balayage exigent des appareils à laser de haute puissance fonctionnant en modes transversaux/longitudinaux multiples. Un spectre en mode multilongitudinal est beaucoup plus large qu'un spectre en mode monolongitudinal, comme dans l'exemple représenté à la Figure 5. Le fonctionnement en modes longitudinaux multiples peut entraîner des variations dynamiques complexes dans la structure de mode en raison de la compétition entre les modes temporels et/ou du brûlage de trous spatiaux/spectraux. La Figure 5 présente un exemple des structures asymétriques en modes longitudinaux dans une largeur de bande de quelques nanomètres. Pour une structure spectrale aussi complexe, il est tout à fait avantageux d'utiliser la longueur d'onde du centroïde λ_c . Les erreurs de chromaticité calculées peuvent être maintenues à un faible niveau si λ_c [1],[2] est utilisée. La longueur d'onde du centroïde λ_c pour le spectre en mode multilongitudinal de la Figure 5 est calculée et est égale à 445,26 nm.

Il convient de calculer les composantes trichromatiques X , Y , Z à partir des spectres ou des longueurs d'onde. L'intensité de crête RVB ne doit pas servir à calculer la chromaticité puisque les appareils à laser R, V, B peuvent présenter une largeur et/ou forme de raie différente. Par conséquent, l'éclairement énergétique E_{e-R} , E_{e-G} , E_{e-B} de chaque couleur R, V, B doit être mesuré séparément en utilisant le montage représenté à la Figure 1. Pour calculer les valeurs d'éclairement énergétique, la puissance optique P_R , P_G , P_B peut être mesurée en utilisant le montage représenté à la Figure 1, ou les valeurs de luminance énergétique L_R , L_G , L_B peuvent être calculées en utilisant le montage représenté à la Figure 2 ou à la Figure 3.



IEC

Figure 4 – Exemple de spectres de lasers RVB en mode longitudinal unique

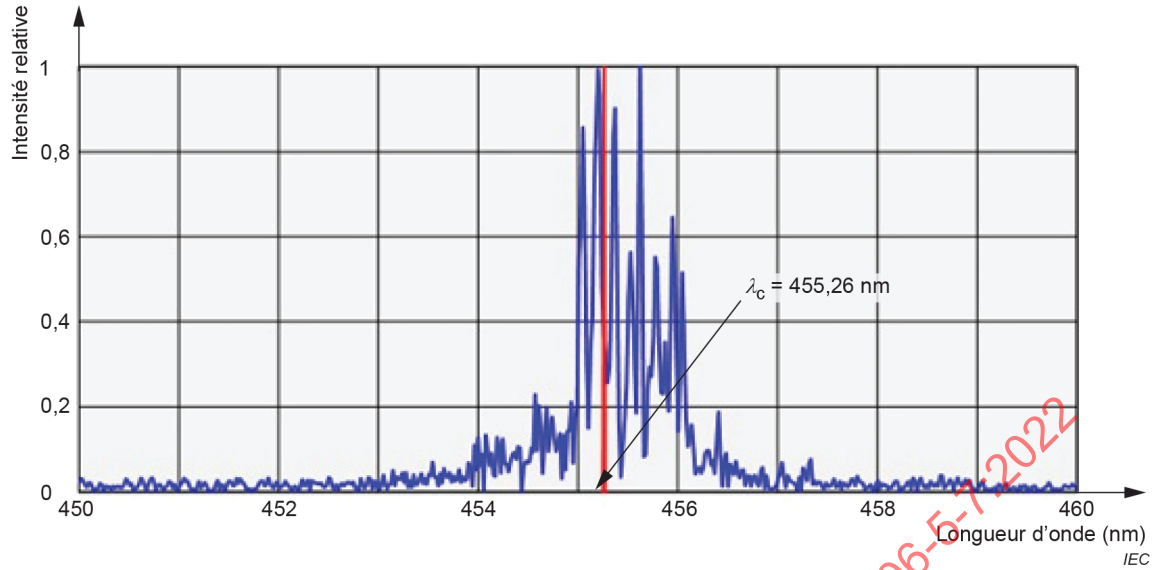


Figure 5 – Exemple d'un spectre en modes longitudinaux multiples

Dans le cas de la largeur de raie étroite des appareils à laser qui fonctionnent en mode longitudinal unique, une seule valeur de longueur d'onde peut être simplement utilisée pour le calcul des composantes trichromatiques. Comme cela est mentionné ci-dessus, la longueur d'onde du centroïde (la seule valeur de longueur d'onde approximative) peut être appliquée aux structures spectrales asymétriques en modes longitudinaux multiples dans une largeur de bande de quelques nanomètres. Ensuite, en utilisant les fonctions colorimétriques de la CIE à la longueur d'onde de chaque couleur primaire $\bar{x}(\lambda_Q)$, $\bar{y}(\lambda_Q)$, $\bar{z}(\lambda_Q)$, ($Q = R, V, B$), les composantes trichromatiques X , Y , Z peuvent être calculées par les formules suivantes.

$$\begin{aligned} X &= \bar{x}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{x}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{x}(\lambda_B)E_{e-B}, \\ Y &= \bar{y}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{y}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{y}(\lambda_B)E_{e-B}, \\ Z &= \bar{z}(\lambda_R)E_{e-R} + \bar{z}(\lambda_G)E_{e-G} + \bar{z}(\lambda_B)E_{e-B} \end{aligned} \quad (1)$$

Dans le cas spécial d'utilisation des appareils à laser émis à une largeur de bande beaucoup plus grande (par exemple, la superposition de signaux à haute fréquence, l'utilisation de plusieurs appareils à laser, etc.), il convient d'utiliser les formules habituelles intégrales des composantes trichromatiques.

La chromaticité CIE 1931 (x, y) et la chromaticité CIE 1976 (u', v') sont données respectivement comme suit.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} \quad (3)$$

L'éclairement lumineux doit être calculé par

$$E_v = 683 \times Y \quad (4)$$

6.2 Contraste de tacheture monochromatique et tacheture de couleurs

6.2.1 Généralités

La tacheture monochromatique et la tacheture de couleurs sont reconnues comme un motif de bruit optique sur la rétine humaine, créé par l'interférence des lumières cohérentes ou partiellement cohérentes diffusées sur une surface diffuse. Le motif de tacheture monochromatique est constitué de grains de différentes tailles avec un éclairage lumineux rétinien élevé/faible [5], [6], [7]. Le motif de tacheture de couleurs est constitué de grains de différentes tailles et de différentes couleurs avec un éclairage lumineux rétinien élevé/faible. La méthode normalisée de mesure de la tacheture utilisée doit consister en un écran étalon externe diffusant de grande taille ou en un ou plusieurs petits écrans étalons diffusants. Les matériaux de l'écran doivent être le blanc étalon de surface à réflexion diffuse lambertienne, comme cela est spécifié en 4.6.

La définition de la taille minimale des grains de tacheture est donnée dans l'IEC 62906-1-2 [8]. La taille des grains dépend de la longueur d'onde. Pour les grandes longueurs d'onde, la taille des grains a tendance à être plus importante. Ceci implique que la taille des grains du rouge (R) est plus grande, et celle du bleu (B) est plus petite.

Les méthodes de mesure du contraste de tacheture monochromatique doivent être appliquées conformément à l'IEC 62906-5-2, et les méthodes de mesure de la tacheture de couleurs doivent être appliquées conformément à l'IEC 62906-5-4.

Le 6.1 doit également être appliqué aux mesurages de la tacheture de couleurs, comme dans l'IEC 62906-5-4. Chacun des motifs de tacheture monochromatique R, V, B est mesuré par un capteur 2D dans le LMD. Le pixel du capteur 2D doit être plus petit que la taille minimale des grains de la tacheture. Le motif de tacheture de couleurs est créé par l'ajout des couleurs des motifs de tacheture R, V, B. Le motif complexe de tacheture de couleurs est réparti en couleurs primaires pour l'analyse des motifs R, V, B originaux. Il est recommandé d'utiliser un LMD équipé d'un passeur automatique de filtres optiques passe-bande. Les valeurs d'éclairement énergétique R, V, B de la Formule (1) correspondent à l'éclairement énergétique de la tacheture réparti en couleurs à une position particulière des pixels du capteur. La chromaticité et l'éclairement lumineux de la tacheture de couleurs au niveau du pixel du capteur peuvent être calculés à l'aide des Formules (2) à (4) sur la base des composantes trichromatiques.

Le DUT doit être un additif de couleur primaire, ou le DUT fonctionnant en mode additif de couleur doit être utilisé. L'additivité des couleurs peut être vérifiée en comparant la moyenne de la distribution de la chromaticité avec la chromaticité mesurée directement par le montage représenté à la Figure 1.

NOTE Le capteur 2D est plan, et non courbé comme avec la rétine. L'unité d'éclairement lumineux sur le capteur 2D est différente de l'unité d'éclairement lumineux rétinien (troland). Les valeurs mesurées de l'éclairement lumineux de la tacheture sont des valeurs relatives et l'image mesurée est considérée par hypothèse comme étant celle que le cerveau humain reconnaît.

En particulier pour le mesurage de la tacheture des affichages laser à balayage, le temps d'exposition du LMD doit être synchronisé avec le signal de rafraîchissement de l'image du DUT. Il convient d'utiliser un LMD à grande vitesse capable de fixer un temps d'exposition beaucoup plus court qu'une période d'image pour vérifier l'effet d'un balayage d'image non terminé.

6.2.2 Analyse du bruit de tacheture

Selon la théorie de l'analyse du bruit, le bruit de tacheture doit être analysé en utilisant la valeur efficace de l'éclairement lumineux superposée à la valeur moyenne. Pour les données 2D d'éclairement lumineux enregistrées (taille des données: M), la valeur efficace du bruit de tacheture est exprimée comme suit:

$$E_{v-rms} = \sqrt{\sum_{m=1}^M (E_{v-m} - \bar{E}_v)^2 / M} \quad (5)$$

où

E_{v-m} ($m = 1, 2, \dots, M$) est égal à la $m^{\text{ième}}$ donnée;

$\bar{E}_v$ est la moyenne des valeurs d'éclairement lumineux de la tacheture.

Le bruit de la tacheture en valeur efficace, E_{v-rms} , est égal à l'écart-type de la distribution de la tacheture σ . Par conséquent, E_{v-rms} est exactement égal au contraste photométrique de tacheture C_{ps} lorsque les valeurs d'éclairement lumineux sont normalisées par la moyenne $\bar{E}$. Autrement dit, la formule suivante s'applique.

$$E_{v-rms} / \bar{E}_v = C_{ps} \quad (6)$$

Du point de vue de l'analyse du bruit, le C_{ps} est l'inverse du rapport signal-bruit (SNR). (Au lieu de C_{ps} , le contraste de tacheture C_s est simplement utilisé pour le contraste de tacheture monochromatique).

Le facteur de bruit (NF) est défini comme le rapport entre le SNR d'entrée et le SNR de sortie. Le SNR optique d'entrée est par hypothèse égal à l'unité pour les signaux uniformes. Par conséquent, le contraste photométrique de tacheture C_{ps} est aussi égal au facteur de bruit NF optique.

6.2.3 Procédure de mesure

La procédure de détermination des données 2D fondamentales sur la tacheture de couleurs doit être la suivante.

- Mesurer les conditions d'environnement et vérifier qu'elles satisfont aux exigences du présent document.
- Déterminer les positions de l'écran ou de l'écran virtuel, du DUT et des LMD.
- Régler le DUT (distance D_1).
- Choisir la couleur (représentée par W qui correspond par hypothèse à la couleur blanche) d'un motif de fenêtre uniforme.
- Projeter le motif de fenêtre sur l'écran virtuel (Figure 1), l'étalon de réflexion diffuse de petite taille (Figure 2), ou sur l'écran de grande taille (Figure 3).
- Attendre la stabilisation du DUT.
- Régler les LMD pour l'éclairement énergétique des spectres/longueurs d'onde (ou pour la puissance, l'éclairement lumineux), la chromaticité comme à la Figure 1, ou définir les LMD pour la luminance énergétique des spectres/longueurs d'onde comme à la Figure 2.
- Attendre la stabilisation des LMD.
- Mesurer les spectres/longueurs d'onde des couleurs R, V, B, l'éclairement énergétique R, V, B (ou les puissances RVB, l'éclairement lumineux R, V, B), l'éclairement lumineux et la chromaticité de la couleur W (Figure 1), ou mesurer les spectres/longueurs d'onde des couleurs R, V, B, la luminance énergétique R, V, B (Figure 2, Figure 3).
- Définir l'étalon de réflexion diffuse de petite taille (Figure 2), ou l'écran de grande taille (Figure 3) pour les mesurages de la tacheture si le montage représenté à la Figure 1 est retenu dans la procédure e).
- Régler le LMD pour les mesurages de la tacheture.
- Ajuster le LMD pour les mesurages de la tacheture (distance D_2 , angle $\Delta\theta$, focalisation et durée d'exposition).
- Enregistrer les données 2D de tacheture monochromatique pour chacune des entrées RVB.

- n) Calculer les données 2D de tacheture de couleurs et les métriques de tacheture (contraste de tacheture monochromatique, contraste photométrique de tacheture et distribution de la tacheture dans le diagramme de chromaticité) par le mélange de couleurs en utilisant les longueurs d'onde et les données d'éclairement énergétique R, V, B selon les méthodes spécifiées dans l'IEC 62906-5-4.
- o) Consigner les conditions et les métriques de la tacheture monochromatique et de la tacheture de couleurs.

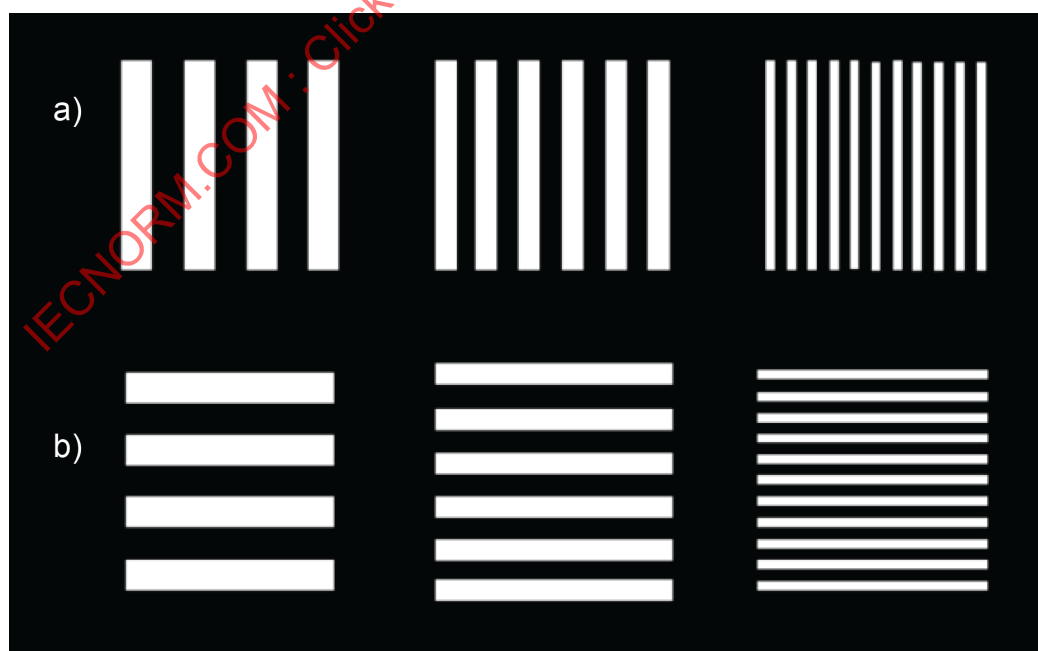
6.3 Résolution de l'image affectée par la tacheture

6.3.1 Motifs en grille

Les motifs en grille pour le mesurage de la résolution de l'image affectée par la tacheture doivent être fondamentalement identiques à la méthode classique des affichages, définie comme la modulation de contraste (C_M), ou de manière plus exacte, comme le contraste de luminance de motif en grille, sauf spécification contraire. Il convient de noter que, sous l'effet de tacheture, C_M doit être mesurée comme éclairement énergétique/éclairement lumineux, comme cela est spécifié en 6.2. Les résolutions horizontale et verticale sont importantes, surtout pour les affichages laser à balayage tramé, parce que les deux directions du protocole de modulation d'image sont considérablement différentes. Pour les affichages laser utilisant d'autres protocoles de balayage, des motifs plus appropriés doivent être utilisés. Dans tous les cas, le motif utilisé pour le mesurage doit être consigné.

La Figure 6a) représente les motifs en grille de mesure de la résolution dans la direction horizontale et la Figure 6b) ceux dans la direction verticale. La méthode classique utilisant les motifs représentés à la Figure 6a) pour la direction horizontale est présentée à l'Annexe B. Des exemples du tracé C_M permettant d'obtenir la résolution de l'image sont également présentés à l'Annexe B.

Pour les autres protocoles de balayage, il convient d'inclure des motifs de paires de lignes le long des directions de balayage. Par exemple, il convient d'utiliser des motifs de paires de lignes obliques pour une direction de balayage oblique, ou des motifs de paires de lignes courbes pour un protocole de balayage courbe. En particulier, il convient d'utiliser pour les mesurages de résolution affectée par la tacheture, des données statistiquement suffisantes le long de la direction de paires de lignes.



IEC

Figure 6 – Motifs en grille dans les directions horizontale et verticale

6.3.2 Modulation de contraste (contraste de motif en grille) sous les effets de tacheture

La résolution de l'image affectée par la tacheture est la plus importante d'un point de vue pratique car la tacheture affecte grandement la résolution observée par tous. La résolution de l'image affectée par la tacheture doit être mesurée en utilisant l'écran étalon de surface à réflexion diffuse de grande taille ou de petite taille et le LMD destiné aux mesurages de la tacheture comme dans le montage de mesure sur écran représenté à la Figure 3. Les mesurages doivent être effectués sur la base des mesurages de la tacheture spécifiés en 6.2.

Le mesurage de C_M , sous l'effet de tacheture, exige des procédures plus compliquées que la méthode classique pour une résolution d'image. Le bruit de tacheture doit être traité statistiquement. Les valeurs d'éclairement lumineux et de chromaticité le long des lignes parallèles à la direction de la grille fluctuent d'un point de vue statistique car elles sont affectées par la tacheture de couleurs. Les valeurs moyennes d'éclairement lumineux et de chromaticité le long des lignes parallèles à la direction de la grille varient ligne par ligne autour de la bordure du motif en grille, comme cela est décrit en 6.3.4.

Les effets de la taille des grains de tacheture sur la résolution d'image deviennent plus importants lorsque la largeur des lignes de la grille se rapproche de la taille des grains [13]. La taille minimale des grains peut être théoriquement calculée en utilisant la longueur d'onde, le diamètre de l'iris et la longueur focale de la lentille, comme cela est spécifié dans l'IEC 62906-5-2. Il n'est pas facile de prévoir avec exactitude chaque taille des grains de tacheture plus gros en raison de leur caractère aléatoire. Les plus gros grains sur une ligne parallèle à la direction de la grille recouvrent les lignes avoisinantes, ce qui crée des corrélations aléatoires entre les lignes avoisinantes. Cependant, les données de tacheture de couleurs mesurées en 2D et relatives à l'éclairement lumineux et à la chromaticité comprennent les effets réels du caractère aléatoire de la taille des grains. Par conséquent, la méthode C_M , sous l'effet de tacheture, utilisant les données de tacheture mesurées peut inclure les effets de la taille des grains.

La Figure 7 représente (1) le motif original en grille, (2) les données de l'image sous l'effet de la tacheture de couleurs, (3) les données correspondantes normalisées de la distribution de l'éclairement lumineux tacheté, et (4) la moyenne des valeurs d'éclairement lumineux le long de la direction de la grille. Pour obtenir le contraste de modulation C_M , sous les effets de tacheture, la valeur efficace et la valeur moyenne le long des lignes parallèles à la direction de la grille (par exemple, les lignes a, b, c, d de la Figure 7) peuvent être utilisées pour représenter la propriété statistique sous la forme du tracé d'une ligne transversale unique. Par conséquent, les éclairements lumineux maximum et minimum locaux $E_{H,L}$ de la Figure B.1 peuvent être remplacés par les valeurs moyennes, $\bar{E}_{H,L}$.

La valeur C_{M-ave} sous l'effet de tacheture, pour l'éclairement lumineux moyen peut être obtenue comme suit.

$$C_{M-ave} = \frac{\bar{E}_{V-H} - \bar{E}_{V-L}}{\bar{E}_{V-H} + \bar{E}_{V-L}} \quad (7)$$

Cependant, le point de vue de l'analyse des erreurs de signal est également nécessaire. La Figure 8 donne une représentation en diagramme de l'œil de la distribution de l'éclairement lumineux normalisé de la tacheture représentée à la Figure 7c). Dans le diagramme en œil, les éclairements maximum et minimum locaux sont représentés et sont situés à la même position de phase. Le signal le plus clair et le signal le plus sombre peuvent être distingués lorsque l'œil est largement ouvert. Les deux signaux ne peuvent pas être distingués lorsque l'œil est fermé. En prenant en considération la Formule (7) et le fait que C_{ps} implique l'écart-type σ , le bruit de

tacheture se répartit principalement à l'intérieur de $\bar{E}_{V-H}(1 \pm C_{ps})$ comme à la Figure 8. Par conséquent, l'ouverture de l'œil est définie comme la région entre $\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps})$ et $\bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})$.

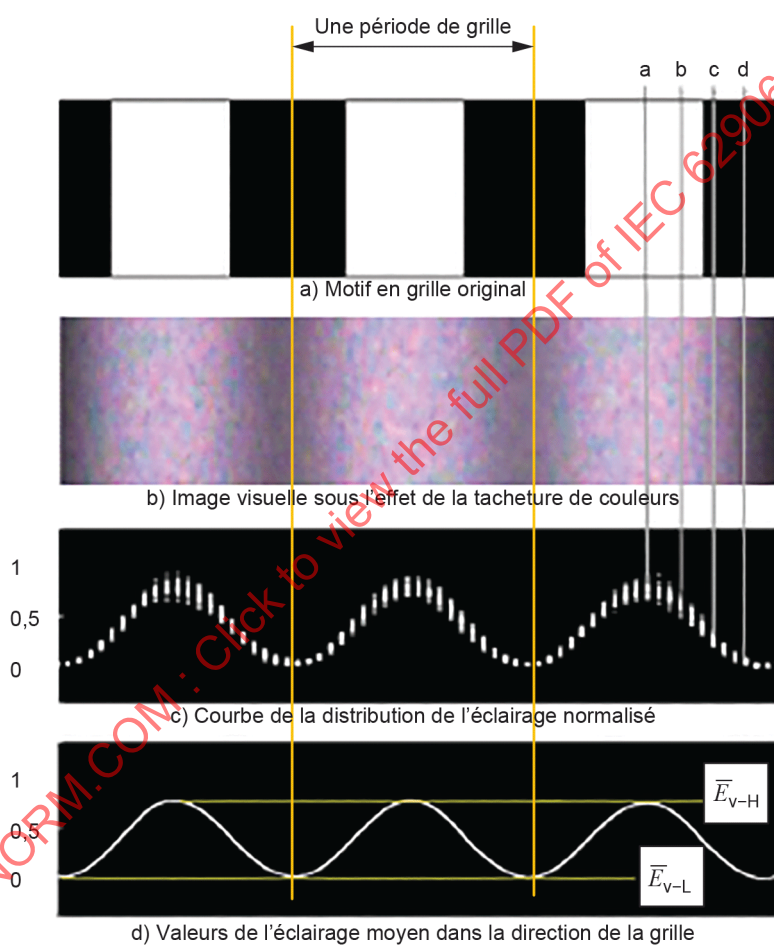
La valeur $C_{M\text{-speckle}}$, sous l'effet de la tacheture de couleurs, peut être enfin obtenue comme suit:

$$C_{M\text{-speckle}} = \frac{\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps}) - \bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})}{\bar{E}_{V-H}(1 - C_{ps}) + \bar{E}_{V-L}(1 + C_{ps})} = \frac{C_{M\text{-ave}} - C_{ps}}{1 - C_{ps}C_{M\text{-ave}}} \quad (8)$$

où

C_M est définie par la Formule (7).

La méthode ci-dessus doit s'appliquer soit pour chaque couleur R, V, B, soit pour la couleur créée par le mélange additif de couleurs R, V, B.



IEC

Figure 7 – Données mesurées du motif en grille tacheté et des lignes dans la direction de la grille

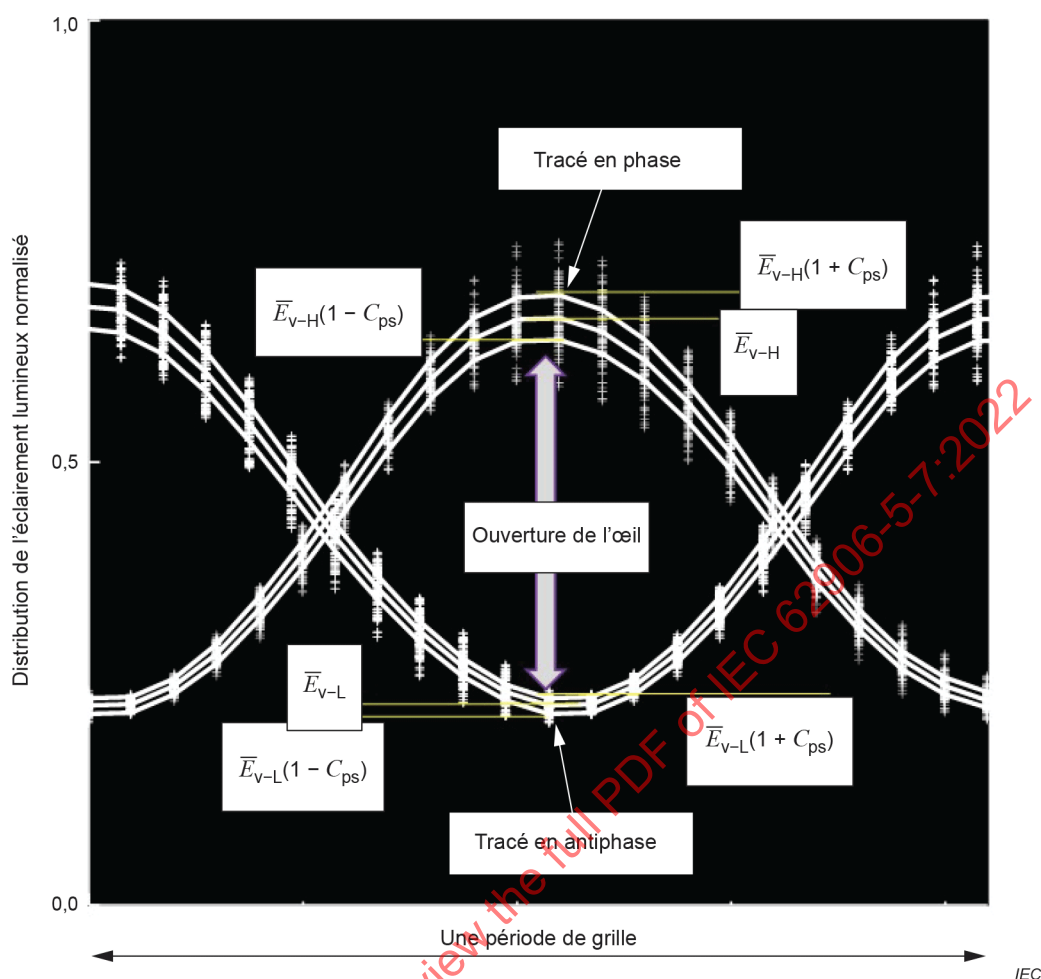


Figure 8 – Représentation en diagramme de l'œil de la distribution de l'éclairement lumineux normalisé de la tacheture

6.3.3 Procédure de mesure

La procédure de détermination de la résolution de l'image affectée par la tacheture doit être la suivante.

- Mesurer les conditions d'environnement et vérifier qu'elles satisfont aux exigences du présent document.
- Déterminer les positions de l'écran ou de l'écran virtuel, du DUT et des LMD.
- Régler le DUT (distance D_1).
- Choisir la couleur (représentée par W qui correspond par hypothèse à la couleur blanche) d'un motif de fenêtre uniforme ou de grille.
- Projeter le motif de fenêtre uniforme sur l'écran virtuel (Figure 1), l'étalon de réflexion diffuse de petite taille (Figure 2) ou sur l'écran de grande taille (Figure 3).
- Attendre la stabilisation du DUT.
- Régler les LMD pour l'éclairement énergétique des spectres/longueurs d'onde (ou pour la puissance, l'éclairement lumineux), et la chromaticité comme à la Figure 1, ou définir les LMD pour les spectres/longueurs d'onde et la luminance énergétique comme à la Figure 2.
- Attendre la stabilisation des LMD.
- Mesurer les spectres/longueurs d'onde des couleurs R, V, B, l'éclairement énergétique R, V, B (ou les puissances RVB, l'éclairement lumineux R, V, B), l'éclairement lumineux et la chromaticité de la couleur W (Figure 1), ou mesurer les spectres/longueurs d'onde des couleurs R, V, B, la luminance énergétique R, V, B (Figure 2, Figure 3).