

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electronic paper displays –
Part 3-1: Optical measuring methods**

**Afficheurs de papier électroniques –
Partie 3-1: Méthodes de mesures optiques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62679-3-1:2014



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electronic paper displays –
Part 3-1: Optical measuring methods**

**Afficheurs de papier électroniques –
Partie 3-1: Méthodes de mesures optiques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 31.120; 31.260

ISBN 978-2-8322-1515-9

**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.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviations	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Abbreviations.....	8
4 Standard measuring conditions.....	8
4.1 Standard measuring environmental conditions	8
4.2 Viewing direction coordinate system	8
4.3 Standard lighting conditions	9
4.3.1 General comments and remarks on the measurement of electronic paper displays	9
4.3.2 Dark-room conditions.....	9
4.3.3 Standard ambient illumination spectra	10
4.3.4 Standard illumination geometries	11
4.4 Standard conditions of measuring equipment.....	16
4.4.1 General	16
4.4.2 Adjustment of EPD	16
4.4.3 Conditions of measuring equipment	16
4.4.4 Contact measurements with integrated illumination/detection instruments.....	17
4.5 Working standards and references.....	18
4.5.1 Diffuse reflectance standard	18
4.5.2 Specular reflectance standard	18
4.6 Standard locations of measurement field.....	19
4.6.1 Matrix displays.....	19
4.6.2 Segment displays	19
5 Optical measuring methods	20
5.1 Reflection measurements.....	20
5.1.1 Purpose	20
5.1.2 Measuring conditions.....	20
5.1.3 Measuring the hemispherical diffuse spectral reflectance factor.....	20
5.1.4 Measuring the reflectance factor for a directed light source	22
5.2 Display photometric in-plane uniformity.....	23
5.2.1 Purpose	23
5.2.2 Measuring equipment	23
5.2.3 Measurement method	23
5.2.4 Definitions and evaluations	24
5.3 Contrast ratio	24
5.3.1 Purpose	24
5.3.2 Measuring equipment	24
5.3.3 Measurement method	24
5.3.4 Definitions and evaluations	25
5.4 Ambient contrast ratio	25
5.4.1 Purpose	25
5.4.2 Measuring conditions.....	25

5.4.3	Measuring method	25
5.5	Cross-talk	26
5.5.1	Purpose	26
5.5.2	Measuring equipment	26
5.5.3	Greyscale matrix displays	26
5.5.4	Black and white (two-level) matrix displays	28
5.6	Display colour, colour gamut, and colour gamut area	28
5.6.1	Purpose	28
5.6.2	Measuring equipment	28
5.6.3	Measurement method	29
5.6.4	Definitions and evaluations	29
5.6.5	Display colour gamut	30
5.6.6	Display colour gamut area	30
5.7	Display colorimetric in-plane uniformity	32
5.7.1	Purpose	32
5.7.2	Measuring equipment	32
5.7.3	Measurement method	32
5.7.4	Definitions and evaluations	33
5.8	Daylight display colour	34
5.8.1	Purpose	34
5.8.2	Measuring conditions	34
5.8.3	Measuring method	34
5.9	Daylight colour gamut volume	35
5.9.1	Purpose	35
5.9.2	Measuring conditions	35
5.9.3	Measuring method	35
5.9.4	Reporting	37
5.10	Viewing direction dependence	37
5.10.1	Purpose	37
5.10.2	Measuring conditions	37
5.10.3	Measuring method	38
5.10.4	Definitions and evaluations	39
5.11	Ghosting	41
5.11.1	Purpose	41
5.11.2	Measuring equipment	41
5.11.3	Measuring method	41
5.11.4	Definitions and evaluations	42
Annex A (informative)	Calculation method of daylight colour gamut volume	43
A.1	Purpose	43
A.2	Procedure for calculating the colour gamut volume	43
A.3	Surface subdivision method for CIELAB gamut volume calculation	45
A.3.1	Purpose	45
A.3.2	Assumptions	45
A.3.3	Algorithm	45
A.3.4	Software example	45
Bibliography		50

Figure 1 – Representation of the viewing direction, or direction of measurement, defined by the angle of inclination, and the angle of rotation (azimuth angle) in a polar coordinate system.....	9
Figure 2 – Illustrated examples for directional illumination	12
Figure 3 – Example of the measuring setup using directional illumination where $\theta_S = 40^\circ$ and $\theta_R = 30^\circ$	12
Figure 4 – Example of the ring light illumination measuring setup where $\theta_S \pm \Delta = 35^\circ \pm 5^\circ$ and $\theta_R = 20^\circ$	13
Figure 5 – Detailed schematic of ring light characteristics	14
Figure 6 – Example of measurement geometries for hemispherical illumination using an integrating sphere (left) and sampling sphere (right)	15
Figure 7 – Layout diagram of measurement setup	17
Figure 8 – Standard measurement positions	19
Figure 9 – Window pattern for cross-talk measurement.....	27
Figure 10 – Example of display colour gamut.....	30
Figure 11 – Example of evaluation results for the colour gamut area on the a^*b^* plane of the CIELAB colour space	32
Figure 12 – An example of range in colours produced by a given display as represented by the CIELAB colour space	36
Figure 13 – Illumination/detection geometry for measuring the viewing direction properties of the display.....	38
Figure 14 – Example of contrast ratio dependence on viewing direction	40
Figure 15 – Display pattern used to characterize ghosting.	42
Figure A.1 – Analysis flow chart for calculating the colour gamut volume	43
Figure A.2 – Graphical representation of the colour gamut volume for sRGB in the CIELAB colour space	44
Table 1 – Eigenvalues M_1 and M_2 for CIE daylight Illuminants D50 and D75	21
Table 2 – Input signals for CIELAB and CIE UCS u^*v^* colour gamut area measurements	31
Table 3 – Example data of in-plane colour non-uniformity	33
Table 4 – Example of minimum colours required for gamut volume calculation of a 3-primary 8-bit display	35
Table 5 – Measured tristimulus values for the minimum set of colours (see Table 4) required for gamut volume calculation under the specified daylight illumination conditions.....	37
Table 6 – Colour gamut volume in the CIELAB colour space.....	37
Table 7 – Example format used for reporting viewing direction performance	41
Table A.1 – Tristimulus values of the sRGB primary colours	44
Table A.2 – Example of sRGB colour set represented in the CIELAB colour space	44
Table A.3 – Example of sRGB colour gamut volume in the CIELAB colour space.....	45

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRONIC PAPER DISPLAYS –**Part 3-1: Optical measuring methods****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.

International Standard 62679-3-1 has been prepared by IEC technical committee 110: Electronic display devices.

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

FDIS	Report on voting
110/548/FDIS	110/561/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62679 series, published under the general title *Electronic paper displays*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62679-3-1:2014

ELECTRONIC PAPER DISPLAYS –

Part 3-1: Optical measuring methods

1 Scope

This part of IEC 62679 specifies the standard measurement conditions and measurement methods for determining the optical performance of Electronic Paper Display (EPDs). The scope of this document is restricted to EPDs using either segment, passive, or active matrix with either monochromatic or colour type displays. The measuring methods are intended for EPDs operated in a reflective mode. The EPDs may include an integrated lighting unit (ILU), but the ILU will be turned off for these measuring methods. Colour systems beyond three primaries are not covered in this document.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at www.electropedia.org)

IEC 62679-1-11, *Electronic paper displays – Part 1-1: Terminology*

IEC 61966-2-1, *Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Colour management – Default RGB colour space – sRGB*

CIE 15, *Colorimetry*

CIE 38, *Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and their Measurement*

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62679-1-1, IEC 60050, as well as the following apply.

3.1.1

ambient contrast ratio

contrast ratio of a display with both hemispherical diffuse and directional illumination incident onto its surface used to simulate real lighting environments

3.1.2

daylight display colour

colour of a display with both hemispherical diffuse and directional illumination incident onto its surface at a defined geometry, spectra, and illumination levels that simulate a realistic daylight lighting environment

¹ To be published.

3.1.3

colour gamut volume

single number corresponding to the largest possible range of display colours (including all possible mixtures of the primaries, white W and black K), described as a volume in a three-dimensional colour space such as CIELAB

3.1.4

daylight colour gamut volume

colour gamut volume of a display with both hemispherical diffuse and directional illumination incident onto its surface at a defined geometry, spectra, and illumination levels that simulate a realistic daylight lighting environment

3.2 Abbreviations

CCT	correlated colour temperature
CIE	International Commission on Illumination
CIELAB	CIE 1976 (L*a*b*) colour space
DUT	device under test
EPD	electronic paper display
ILU	integrated lighting unit (e.g. an edge-lit front guide plate)
ISO	International Organization for Standardization
LED	light emitting diode
LMD	light measuring device
RGB	red, green, blue
SDCM	standard deviation of colour matching
sRGB	a standard RGB colour space as defined in IEC 61966-2-1

4 Standard measuring conditions

4.1 Standard measuring environmental conditions

Optical and electro-optical measurements shall be carried out under the standard environmental conditions, at a temperature of $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, a relative humidity of 25 % to 85 %, and a pressure of 86 kPa to 106 kPa. When different environmental conditions are used, they shall be noted in the report.

4.2 Viewing direction coordinate system

The viewing direction is the direction under which the observer looks at the point of interest on the device under test (DUT). During the measurement, the light-measuring device (LMD) simulates the observer, by aiming the LMD at the point of interest on the DUT from the viewing direction. The viewing direction is defined by two angles: the angle of inclination θ (relative to the surface normal of the DUT) and the angle of rotation ϕ (also called azimuth angle) as illustrated in Figure 1. Although the azimuth angle is measured in the counter-clockwise direction, it is related to the directions on a clock face as follows: $\phi = 0^\circ$ is the 3-o'clock direction ("right"), $\phi = 90^\circ$ the 12-o'clock direction ("top"), $\phi = 180^\circ$ the 9-o'clock direction ("left") and $\phi = 270^\circ$ the 6-o'clock direction ("bottom").

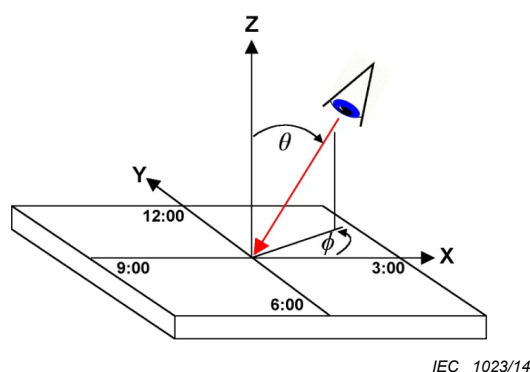


Figure 1 – Representation of the viewing direction, or direction of measurement, defined by the angle of inclination, and the angle of rotation (azimuth angle) in a polar coordinate system

4.3 Standard lighting conditions

4.3.1 General comments and remarks on the measurement of electronic paper displays

This document treats electronic paper displays (EPDs) as reflective displays. A reflective information display is a display that modulates the reflected light so that the information is carried by the reflected light. Reflective displays do not emit any light so that ambient light is required to view that information. Therefore it is critical that measurement specifications on reflective displays include the illumination conditions during measurement. The measurement illumination consists of one or more light sources, each of whose spectral distribution and illumination geometry have to be specified. Thus, display performance measurements shall be carried out under specific and well defined conditions of illumination and detection in order to be reproducible.

ILUs are integrated into an EPD to provide supplemental illumination to compensate for the lack of adequate ambient illumination. The measuring methods in this document are performed with the ILU turned off.

Subclause 4.3 describes a selection of standard lighting conditions for measuring the performance metrics of the EPD. The EPD may also be measured under other illumination and detection geometries in addition to the standard geometries.

A warm-up time may be necessary. The light source signal shall remain stable to within $\pm 5\%$ over the course of the complete measurement.

4.3.2 Dark-room conditions

The EPD is intended to be measured under controlled lighting conditions. Unwanted background illumination shall be minimized, typically by illuminating the display in a darkroom. The darkroom spectral radiance contribution from the background illumination, that is the measured spectral radiance reflected off the DUT, shall be not more than $1/100^{\text{th}}$ of the spectral radiance from the device black state with the illumination source on. If this condition is not satisfied, then background subtraction is required and it shall be noted in the report. In addition, if the sensitivity of the LMD is inadequate to measure at these low levels, then the lower limit of the LMD shall be noted in the report.

Unless stated otherwise, the standard background lighting conditions shall be the dark-room conditions.

4.3.3 Standard ambient illumination spectra

The following illumination conditions are specified for optical and electro-optical measurements of reflective displays under ambient illumination. The ambient illumination shall simulate indoor or outdoor illumination conditions. A combination of two illumination geometries is generally used to simulate either ambient indoor illumination, or outdoor daylight illumination under a clear sky.[1,2]² Uniform hemispherical diffuse illumination will be used to simulate the background lighting in a room with the directed light source such as a luminaire in a room occluded, or the hemispherical skylight incident on the display, with the sun occluded. A directed light source in a dark room will simulate the effect of directional illumination on a display by a luminaire in a room, or from direct sunlight.

The following illumination conditions shall be used to simulate indoor and outdoor display viewing environments:

- Indoor room illumination conditions:

Uniform hemispherical diffuse illumination – Use a light source closely approximating CIE Standard Illuminant A, CIE Standard Illuminant D65, or CIE Standard Illuminant D50 as defined in CIE 15. For spectral measurements, a spectrally smooth broadband light source (such as an approximation to CIE Standard Illuminant A) shall be used. A measurement of the spectral reflectance factor using a broad light source (such as Illuminant A) enables the indoor photopic and colour metrics to be calculated later for the desired reference spectra (for example CIE D65 Illuminant). The performance metrics shall be calculated using 300 lx for an indoor reading environment.[3] The actual hemispherical diffuse reflectance factor measurement may require higher illumination levels for better measurement accuracy. The results are then scaled down to the required illumination levels.

Directional illumination – The same source spectra shall be used as with hemispherical diffuse illumination. The indoor room photopic and colour metrics shall be calculated using directional illumination of 200 lx incident on the display surface for an indoor reading environment with the display in the vertical orientation. The actual reflectance factor measurement may require higher illumination levels for better measurement accuracy. The results are then scaled down to the required illumination levels. The directed source shall be 45° above the surface normal ($\theta_s = 45^\circ$) and have an angular subtense of no more than 5°. The angular subtense is defined as the full angle span of the light source from the centre of the display's measurement area.

Other illumination levels may be used in addition to those defined above for calculating the ambient contrast ratio under indoor illumination conditions. However, approximately 60 % of the total illuminance should be hemispherical diffuse, and 40 % directional illumination.

- Daylight illumination conditions:

Uniform hemispherical diffuse illumination – Use a light source closely approximating skylight with the spectral distribution of CIE Illuminant D75.[4] Additional CIE daylight illuminants (such as D65) may also be used, depending on the intended application. For spectral measurements, the spectral reflectance factor measurements can be made using a spectrally smooth broadband source (such as an approximation to CIE Standard Illuminant A). Skylight photopic and colour metrics can be calculated later for the CIE D75 Illuminant spectra. The skylight photopic and colour metrics shall be calculated using 15 000 lx of hemispherical diffuse illumination (with specular included) incident on a display surface in a vertical orientation.[4,5] The actual hemispherical diffuse reflectance factor measurement may be taken at lower illumination levels. The results are then scaled up to the required illumination levels.

Directional illumination – The directional light source shall approximate CIE daylight Illuminant D50.[4] Additional CIE daylight illuminants (such as D65) may also be used, depending on the intended application. A spectrally smooth broadband source (such as an approximation to CIE Standard Illuminant A) may be used for the reflectance factor measurement. The sunlight photopic and colour metrics can be calculated later with the

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

D50 Illuminant spectra. The daylight contrast ratio or colour shall be calculated using 65 000 lx for a directed source at an inclination angle of $\theta_s = 45^\circ$ to the display surface, and the LMD shall be aligned normal to the display surface ($\theta_d = 0^\circ$). [4,5] The actual reflectance factor measurement may be taken at lower illumination levels. The results are then scaled up to the required illumination levels. The contrast ratio and colour are calculated for the scaled-up illuminance levels. The directed source shall have an angular subtense of approximately $0,5^\circ$.

For daylight photopic and colour metric calculations from spectral reflectance factor measurements, the relative spectral distributions of CIE Illuminants A, D50, D65 and D75 tabulated in CIE 15 shall be used. Additional CIE daylight illuminants shall be determined using the appropriate eigenfunctions, as defined in CIE 15.

The UV region ($< 380 \text{ nm}$) of the light source shall be cut off by a UV blocking filter. When high light source illumination levels are used, an infrared-blocking filter is recommended to minimize device heating.

4.3.4 Standard illumination geometries

4.3.4.1 General

Three types of illumination geometries shall be used for determining the performance of the EPD. Standard configurations for implementing these illumination geometries are defined in 4.3.4. Additional illumination geometries may also be used. The details of the illumination geometry used for a given measurement shall be reported. Further guidance on the proper implementation of these illumination geometries is given in the SID display measurement standard. [1]

4.3.4.2 Directional illumination

Directional illumination is obtained when a light source produces approximately parallel rays incident on the DUT. The maximum deviation of the rays from the optical axis depends on the diameter of both the source and measuring spot. The maximum angle of deviation from the optical axis is given by

$$\arctan ([r_{ms} + r_s] / |d|) < 5^\circ \quad (1)$$

where r_s is the source radius, d is the distance to the measuring spot, and r_{ms} is the measuring spot radius. The illumination across the cross-section of the beam shall be uniform to within 5 %. A source of light sufficiently distant from the DUT can provide directional illumination (e.g. sun and moon). When simulating outdoor directional ambient illumination like the sun and moon, the subtense of the source (as observed by the DUT) should be $\leq 0,5^\circ$.

Directional illumination can be realized with three different types of sources when the source dimensions are small enough compared to the distance between source and the measuring spot on the sample. These geometries are depicted in Figure 2:

- flat Lambertian source, e.g. the exit port of an integrating sphere (top),
- spherical isotropic source (e.g. incandescent bulb inside a diffusing glass-sphere) (middle),
- projection system with lenses or mirrors (bottom).

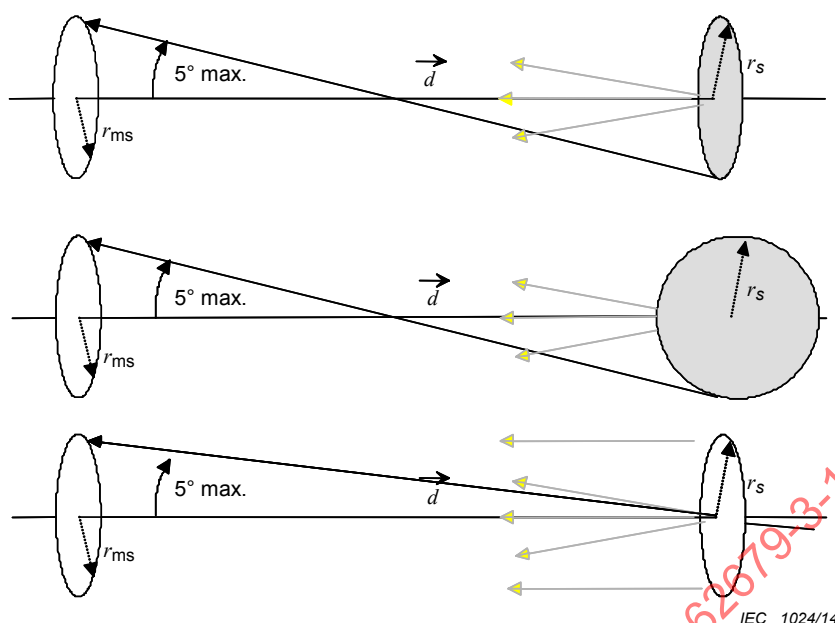


Figure 2 – Illustrated examples for directional illumination

Directional illumination is implemented by using a light source with a small diameter (compared to the distance to the measurement spot) aligned to form an inclination angle θ_S with respect to the surface normal of the DUT. This directed light source produces an illumination spot on the DUT. The LMD is placed at an inclination angle θ_R in the plane of the incident light, and its measurement field centred within the illumination spot. The light source and LMD can be adjusted over a range of inclination angles, but the LMD shall remain in the plane of incidence (i.e. $\phi_S = \phi_R + 180^\circ$). This configuration is shown in Figure 3 (left) with its representation in a polar coordinate system (right). The measurement field on the DUT is defined by the DUT area element that is imaged on the detector in the LMD.

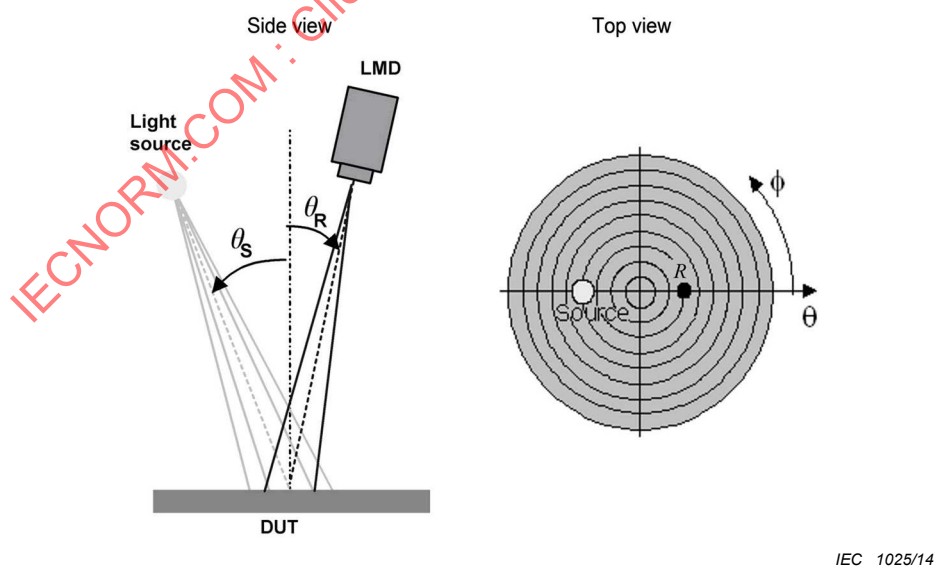


Figure 3 – Example of the measuring setup using directional illumination where $\theta_S = 40^\circ$ and $\theta_R = 30^\circ$

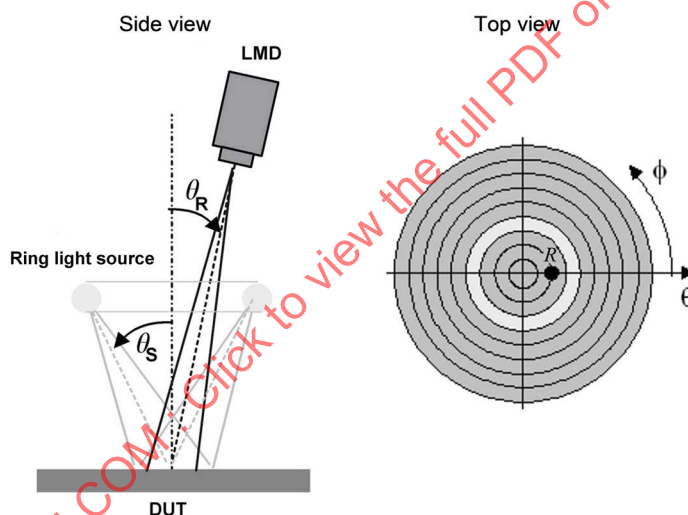
The standard conditions are $\theta_S = 45^\circ$ and $\theta_R = 0^\circ$. Alignment accuracy to within $\pm 0,4^\circ$ is recommended to keep measurement error within $\pm 5 \%$.

4.3.4.3 Ring light illumination

Ring light illumination can be considered a special case of directional illumination. It provides directional illumination with rotational symmetry about the display's surface normal and centred on the measurement spot. Ring light illumination can be realized in the following ways:

- fiber-optic ring light,
- integrating sphere with a ring-shaped aperture (annulus),
- optical systems with lenses and mirrors, for example a concave ring mirror.

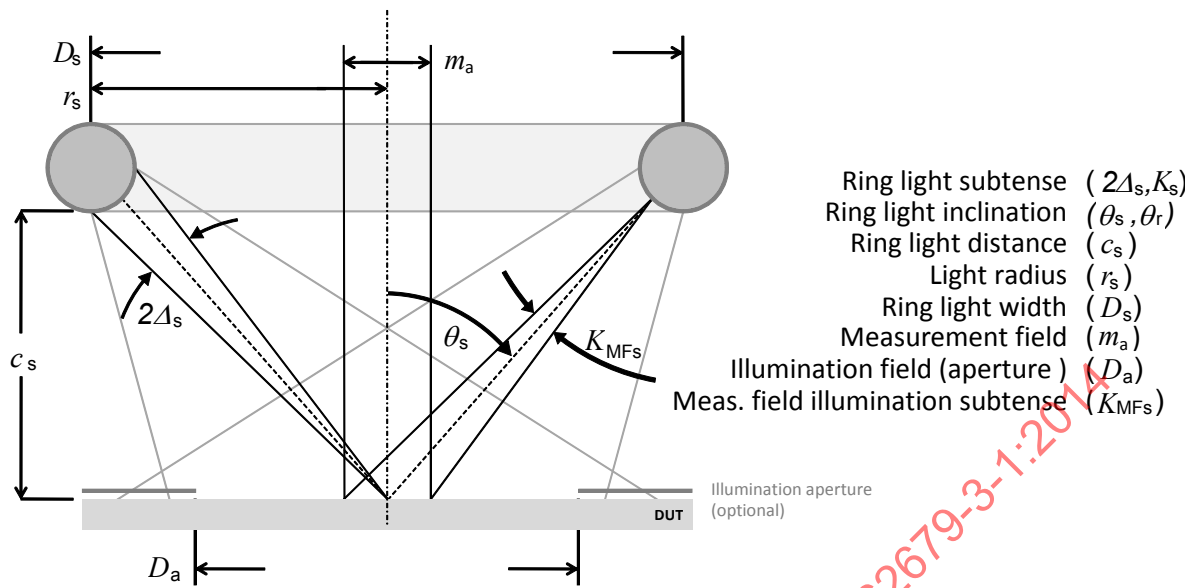
A ring-shaped light source centred about the surface normal of the DUT illuminates the DUT from an angle of inclination $\theta_S \pm \Delta$ for all azimuthal angles $\phi_S = 0^\circ$ to 360° . The LMD is aligned to form an angle $\theta_R < \theta_S - \Delta$ with respect to the surface normal of the DUT. Figure 4 shows a side view of the measuring setup (left) and its representation in a polar coordinate system (right). A more detailed illustration of the ring light characteristics is given in Figure 5. The subtense of the ring light (2Δ in this case) shall be specified. The source and detector shall be aligned to the defined geometry to within $\pm 3^\circ$. The illumination of the measuring spot on the DUT shall be uniform within 5 %. This setup is used with the light source fixed, and the LMD can be adjusted within the limits of the ring light opening. The standard conditions are $\theta_R = 0^\circ$ and a source inclination angle of $\theta_S \pm \Delta = 45^\circ \pm 3^\circ$.



IEC 1026/14

Figure 4 – Example of the ring light illumination measuring setup where $\theta_S \pm \Delta = 35^\circ \pm 5^\circ$ and $\theta_R = 20^\circ$

The ring light and LMD are recommended to have an alignment accuracy of $\pm 0,7^\circ$ in order to keep the measurement error within $\pm 5\%$. When simulating outdoor directional ambient illumination using the ring light, the subtense 2Δ of the source (as observed by the DUT) should be $\leq 0,5^\circ$. A fiber-optic ring light is recommended in this case.



IEC 1027/14

Figure 5 – Detailed schematic of ring light characteristics

The maximum angle of deviation from the optical axis is given by:

$$\arctan\left(\frac{c_s}{r_s}\right) - \arctan\left(\frac{c_s}{r_s - \frac{m_a}{2}}\right) < 5^\circ \quad (2)$$

Thus, the ring light diameter (\$D_s\$) should be at least six times larger than the measurement field diameter (\$m_a\$).

The illuminated area diameter (\$D_a\$) should be at least 1,5 times larger than the measurement field diameter (\$m_a\$).

If the display consists of thick layers above the reflective surface, care should be taken to measure the ring light distance (\$c_s\$) from the farthest visible layer in the display, not the front surface of the display.

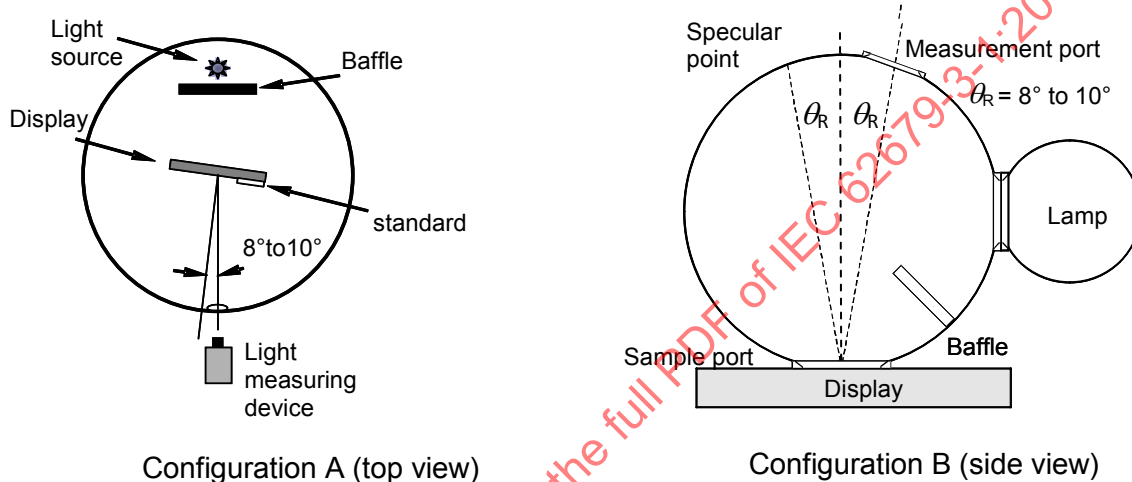
If the reflected light from the display exhibits an asymmetric scatter pattern (e.g. matrix scatter), then the ring light source should be used for directional illumination measurements.[8] If a directional source is used with asymmetric scatter, the results may not be reproducible.

4.3.4.4 Hemispherical illumination

Hemispherical illumination is omni-directional light that is uniformly incident on a display surface. It can be used to simulate the diffuse background illumination of indoor environments, or the diffuse illumination of outdoor skylight (with direct sunlight blocked). In the true hemispherical case, incident light rays of constant luminance are uniformly distributed over all angles of inclination at the measuring spot. Two possible examples of the measurement geometry are shown in Figure 6. A good approximation of ideal hemispherical illumination (i.e. constant luminance from all directions up to 90° inclination) can only be provided by integrating spheres where the diameter of the measurement port (Figure 6, configuration A) or the sample port (configuration B) is small compared to the diameter of the sphere. If an integrating sphere that is at least seven times the physical outer diagonal of the display is

available, the display can be mounted in the centre of the sphere (Figure 6, configuration A). For large displays, a sampling sphere (Figure 6, configuration B) or a hemisphere would be more suitable (see CIE 38). In all cases, the configuration shall follow the standard $d_i:8^\circ$ to $d_i:10^\circ$ illumination/detection geometry, where d_i is the standard notation for diffuse. The following procedure shall be used when performing hemispherical illumination measurements:

- a) The display is placed in the centre of an integrating sphere/hemisphere, or against the sample port of a sampling sphere.
- b) Establish the required illumination at the measurement spot. The colour temperature and illumination spectra can be measured from the reflected light of a white diffuse reflectance standard near the display measurement area (Figure 6, configuration A), or the sampling sphere wall adjacent to the sample port (Figure 6, configuration B.). The type of light source used, and its CCT, shall be noted in the test report.



IEC 1028/14

Figure 6 – Example of measurement geometries for hemispherical illumination using an integrating sphere (left) and sampling sphere (right)

- c) The LMD is aligned to view the centre of the display through a measurement port in the sphere wall at an inclination angle of $8^\circ \left(+2^\circ \atop -0^\circ \right)$ from the display normal. The required LMD angle of inclination can also be realised by tilting the display within the integrating sphere. The LMD is focused on the display surface.
- d) The measurement port diameter shall be 20 % to 30 % larger than the effective aperture of the LMD lens. Care needs to be taken to avoid any direct light from the sources, or any bright reflections off any surface (other than the screen itself), from hitting the lens of the LMD in order to minimise the veiling glare contamination of the reflected luminance measurement. The LMD shall be moved back from the measurement port so that the bright walls of the sphere are not visible to the LMD. In addition, the sample port diameter will typically need to be larger than 25 mm in order for the LMD's field of view to be completely contained within the sample port.
- e) The measurement port shall be bevelled away from the lens. The small diameter of the bevel is toward the LMD, and the large diameter on the inside of the sphere.
- f) The spectral irradiance or illuminance on the display can be measured using a white diffuse reflectance standard with known hemispherical diffuse spectral reflectance factor $R(\lambda)$, or the photopically-weighted (or luminous) hemispherical diffuse reflectance factor R . The white diffuse reflectance standard shall be calibrated under uniform hemispherical diffuse illumination in an integrating sphere. When an integrating sphere (configuration A) or hemisphere is used, the white diffuse reflectance standard shall be placed on the display surface. If t is the thickness of the white diffuse reflectance standard, then it shall be placed on the surface a distance of $5 \times t$ to $7 \times t$ from the measurement area. The white reflectance standard can also be placed adjacent and in the same plane as the display if the sphere illumination is uniform over that distance. In the case of the sampling sphere,

the spectral irradiance can be determined by a measurement of the interior sphere wall adjacent to the sample port.[6] The hemispherical diffuse spectral reflectance factor, or the luminous hemispherical diffuse reflectance factor, of the interior sphere wall can be determined by comparing the spectral radiance (or luminance) of the wall with that of a calibrated white diffuse reflectance standard placed at the sample port (i.e. $R_{\text{wall}} = R_{\text{std}} \times (L_{\text{wall}}/L_{\text{std}})$).

- g) If a sampling sphere is used, the display measurement area shall contain more than 500 display pixels. It is recommended that the sampling sphere be at least six times larger than the sample port diameter. If there is a significant distance between the display emitting surface and the sample port entrance, then the size of the sample port may need to be increased.[7]

The standard conditions are $\theta_R = 8^\circ$ and a source subtense of $2 \times \theta_{S-\text{max}} \geq 170^\circ$. The illumination of the measuring spot on the DUT shall be uniform to within 5 %.

4.4 Standard conditions of measuring equipment

4.4.1 General

Standard equipment conditions are given below. Any deviations from these conditions shall be noted in the report.

Measurements shall be started after the EPD, the source illumination, and the measuring instruments achieve stability.

4.4.2 Adjustment of EPD

The EPD shall be adjusted to nominal product design values, and shall be noted in detail in the report. When there are no levels specified, the maximum contrast level shall be used and the settings noted in the report. These adjustments shall be held constant for all measurements, unless stated otherwise.

4.4.3 Conditions of measuring equipment

The light reflected from the EPD will generally be measured in terms of photometric or colorimetric units: luminance for a photometer, or CIE 1931 tristimulus values (X , Y , Z) for a colorimeter. A spectroradiometer may also obtain photometric and colorimetric values through a numerical conversion of the measured spectral radiance data (see for example [9]). These are usually non-contact instruments without an illumination source. The following requirements are given for these instruments:

- a) The standard measurement equipment setup is shown in Figure 7. The LMD shall be a luminance meter, colorimeter, or a spectroradiometer. The spectroradiometer shall be capable of measuring spectral radiance over at least the 380 nm to 780 nm wavelength range, with a maximum bandwidth of 10 nm for smooth broadband spectra. For light sources that have sharp spectral features, like LEDs and fluorescent lamps, the maximum bandwidth shall be ≤ 5 nm. The spectral bandwidth of the spectroradiometer shall be an integer multiple of the sampling interval. For example, a 5 nm sampling interval can be used for a 5 nm or 10 nm bandwidth.

Care shall be taken to ensure that the LMD has enough sensitivity and dynamic range to perform the required task. The measured LMD signal shall be at least ten times greater than the dark level (noise floor) of the LMD, and no greater than 85 % of the saturation level.

- b) The LMD shall be focused on the image plane of the display and aligned perpendicular to its surface, unless stated otherwise.
- c) The relative uncertainty and repeatability of all the measuring devices shall be maintained by following the instrument supplier's recommended calibration schedule.

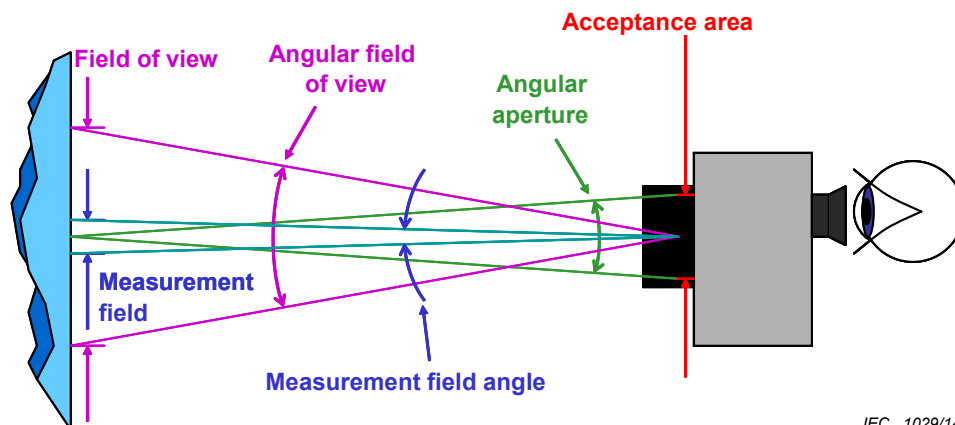


Figure 7 – Layout diagram of measurement setup

- d) The LMD integration time shall be an integer number of frame periods, synchronized to the frame rate, or the integration time shall be greater than two hundred frame periods.
- e) When measuring matrix displays, the LMDs shall be set to a measurement field that includes more than 500 pixels. If smaller measurement areas are necessary, equivalence to 500 pixels shall be confirmed.
- f) The recommended measuring distance is between 20 cm to 50 cm. The measuring distance shall be noted in the report.
- g) The angular aperture shall be less than or equal to 5°, and the measurement field angle shall be less than or equal to 2° (Figure 7). The measuring distance and the aperture angle may be adjusted to achieve a measuring field greater than 500 pixels if setting the above aperture angle is difficult.
- h) The measurement field of the LMD shall be centred and enclosed within the illuminated measuring spot on the DUT.
- i) The display shall be operated at its design field frequency. When using separate driving signal equipment to operate a panel, the drive conditions shall be noted in the report.

In addition to LMDs that form an average value for the measured quantity over the spot under consideration (i.e. measurement field or spot, spot photometers), there is the class of imaging LMDs which give a value or an array of values, e.g. R, G and B) for each individual area-element on the DUT. Such LMDs can replace a sequential mechanical scan of the surface of a display by an image of the entire active area of the DUT, and a subsequent evaluation of the data.

Aspects to be considered when imaging LMDs are used:

- stray light within LMD (e.g. lens flare, veiling glare),
- non-uniformities of sensitivity across detector area,
- $\cos^4 \theta$ variation of detector illuminance.

In addition to the class of LMDs that are forming an image of the measurement field on the detector, there is also a class of LMDs that are directly imaging the directional distribution of light emerging from the measurement field on the DUT. Such imaging devices include "conoscopic LMDs" [10], and imaging spheres ("parousiameter") [11].

4.4.4 Contact measurements with integrated illumination/detection instruments

Some contact spectrophotometers, which contain both a ring light source and an LMD can also be used for light measurements. If these instruments are used, they shall satisfy the illumination geometry and LMD guidelines stipulated in 4.3.4 and 4.4.3 in order to give accurate results. The critical parameters are the size of the illumination area, measurement area, and illumination source geometry. The contact instruments may not be designed to

accommodate the complex multi-layer structures in EPDs, and should be used with caution. Many integrated devices do not meet these requirements and should not be used. The validity of the contact instruments shall be confirmed with a non-contact instrument (e.g. spot spectroradiometer).

The manufacturer, model, and any device configuration options should always be reported along with the results.

4.5 Working standards and references

4.5.1 Diffuse reflectance standard

Diffuse white reflectance standard samples can be obtained with a diffuse reflectance of 98 % or more. They are also available in different shades of grey. A luminance L_{std} measurement from such reflectance standards can be used to determine the illuminance E on the standard for a defined detection geometry and illumination spectra and configuration:

$$E = \frac{\pi L_{\text{std}}}{R_{\text{std}}} \quad (3)$$

where R_{std} is the calibrated luminous reflectance factor for that measurement configuration. When the illumination configuration is a uniform hemispherical illumination, then R_{std} is equivalent to luminous reflectance ρ_{std} . The luminous reflectance value associated with the standard is only valid for the hemispherical illumination in which it was calibrated. If it is used with a directed source at any angle, there is no reason to expect that the luminous reflectance value will be the correct luminous reflectance factor value for that illumination configuration or spectra.

The terms luminous reflectance and luminous reflectance factor shall be abbreviated to reflectance and reflectance factor, respectively.

4.5.2 Specular reflectance standard

Black glass (e.g., BG-1 000), or a very high neutral density absorption filter (density of 4 or larger), can be used to determine the luminance of a source L_s from the measured luminance L_{std} of the virtual source image as reflected by the black glass, and the luminous specular reflectance ζ_{std} of the black glass for the measurement configuration used:

$$L_s = \frac{L_{\text{std}}}{\zeta_{\text{std}}} \quad (4)$$

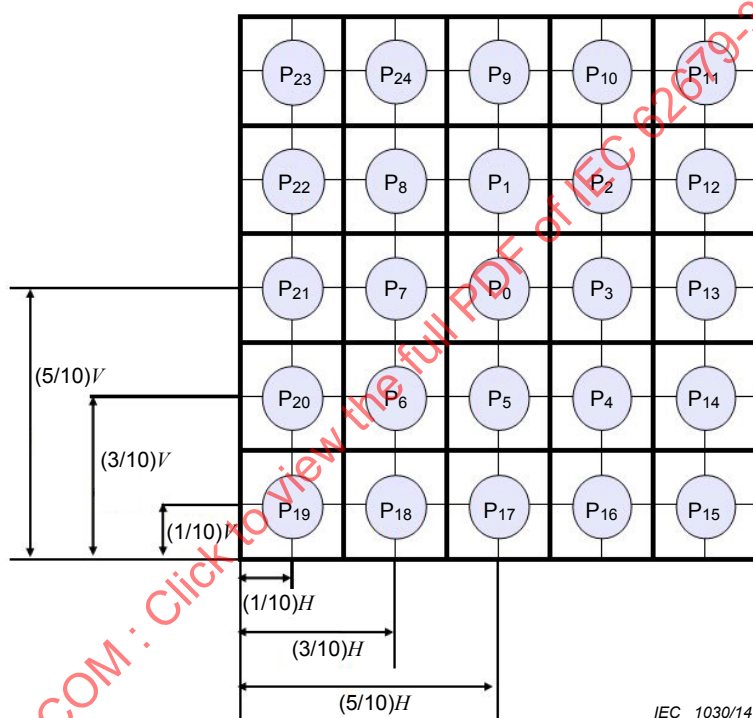
When making specular measurements, the detector is focused on the virtual image of the source. Black glass can be considered as a front surface mirror that has a low specular reflectance of between 4 % and 5 %. A black glass standard can be helpful when the measurement geometry does not allow measuring the source luminance directly, but only by using a mirror. The low specular reflectance of black glass allows measuring the source luminance at about the same order of magnitude as the reflection measurement.

The specular reflectance of black glass is affected by the specular angle, the illumination spectrum, and the cleanliness of its surface. The calibration shall be repeated when the measurement geometry is changed.[1]

4.6 Standard locations of measurement field

4.6.1 Matrix displays

Luminance, spectral distribution and/or tristimulus measurements may be taken at several specified positions on the DUT surface. To this end, the front view of the display is divided into 25 identical imaginary rectangles (see Figure 8). Unless otherwise specified, measurements are carried out in the centre of each rectangle. The rectangles are numbered starting from the centre, and progressing towards the edges in a clock-wise spiral fashion. Care shall be taken that the measuring fields on the display do not overlap. Positioning of the measuring field at the prescribed positions in the horizontal (H) and vertical (V) direction shall be to within 7 % of H and V , respectively. The display or detector shall be translated in the horizontal and vertical directions to perform measurements at the desired display positions, with all measurements are taken normal to the screen. Any deviation from the above standard positions shall be reported.



IEC 1030/14

Figure 8 – Standard measurement positions

4.6.2 Segment displays

Standard measurement positions are the same as those prescribed for matrix displays above. However, for segment displays, all measurements shall be performed at the centre of a segment, and the chosen segment should be as close as possible to the centre of the designated rectangle. Thus, when measurements on position P_i ($i = 0$ to 24) are requested, the geometrical centre of the segment closest to the centre of box P_i should be used for positioning of the detector. Any deviation from the above standard positions shall be added to the detail specification.

The measuring field shall be contained entirely within the segment.

5 Optical measuring methods

5.1 Reflection measurements

5.1.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the reflectance factor of an EPD under defined illumination conditions.

5.1.2 Measuring conditions

a) Apparatus:

A driving power source; a driving signal equipment; an integrating sphere, sampling sphere, or hemisphere; and a directed light source. For spectral measurements, a spectroradiometer that can measure luminance and spectral radiance is needed, as well as a white diffuse reflectance standard with a known hemispherical diffuse spectral reflectance factor and a directed spectral reflectance factor calibrated for the intended measurement geometry. For photometric measurements, a detector is required that can measure luminance, and a white diffuse reflectance standard is required with a known luminous hemispherical diffuse reflectance factor and a directed reflectance factor calibrated for the intended measurement geometry and source spectra. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer or photometer.

b) Illuminance condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a stable and spectrally smooth broadband visible light source (e.g. incandescent lamp) shall be used. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

c) Except for the standard ambient illumination conditions, all other conditions are the standard measuring conditions.

5.1.3 Measuring the hemispherical diffuse spectral reflectance factor

a) Place the display in an integrating sphere or a sampling sphere, as indicated in Figure 6. Turn ON the integrating sphere or sampling sphere hemispherical diffuse illumination to the desired CCT. Allow enough time for the light source to stabilize.

NOTE Any change in sphere illuminance can be monitored by a photopic detector attached to the sphere.

b) Set the DUT to a full screen of the desired colour Q (usually red, green, blue, or white) at the highest reflective level, where Q is a variable for the colour used.

c) Align the LMD through the measurement port, focused on the display surface at the desired display position, and at an 8° to 10° angle to the display surface normal. Measure the spectral radiance $L_{Q, \text{hemi}}(\lambda)$ or luminance $L_{Q, \text{hemi}}$ at the desired measurement position on the display, where $L_{\text{hemi}} = Y_{\text{hemi}}$ for a colorimeter. For spectral measurements, the display luminance $L_{Q, \text{hemi}}$ can be calculated using the following relation:

$$L = 683 \int_{\lambda} L(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

where $V(\lambda)$ is the photopic luminous efficiency function as defined in CIE 15.

NOTE In this standard, spectral measurements such as spectral radiance will be specifically identified by their wavelength dependence (e.g. $L_{Q, \text{hemi}}(\lambda)$), whereas their photometric equivalent luminance will have no explicit wavelength dependence (e.g. $L_{Q, \text{hemi}}$).

d) Align the LMD to the centre of the calibrated white diffuse reflectance standard and measure its spectral radiance $L_{\text{std, hemi}}(\lambda)$ or luminance $L_{\text{std, hemi}}$ with the display at the desired colour Q state. For the sampling sphere case, the $L_{\text{std, hemi}}(\lambda)$ and $L_{\text{std, hemi}}$ are the

spectral radiance and luminance, respectively, measured from the sphere wall adjacent to the sample port.

- e) Calculate the hemispherical diffuse spectral reflectance $\rho_Q(\lambda)$, or luminous hemispherical diffuse reflectance ρ_Q , of the display at the desired colour Q for the measured illumination/detection geometry.

For spectral measurements, the following relation is used:

$$\rho_Q(\lambda) = \rho_{\text{std}}(\lambda) \frac{L_{Q,\text{hemi}}(\lambda)}{L_{\text{std,hemi}}(\lambda)} \quad (6)$$

where $\rho_{\text{std}}(\lambda)$ is the known hemispherical spectral reflectance for the white diffuse reflectance standard, or sampling sphere wall, in the same measurement geometry. The luminous hemispherical diffuse reflectance of a display at the desired hemispherical diffuse illumination spectra $E_{\text{hemi}}(\lambda)$ is determined using the spectral reflectance $\rho_Q(\lambda)$ in the following equation:

$$\rho_Q = \frac{\int_{\lambda} \rho_Q(\lambda) E_{\text{hemi}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} E_{\text{hemi}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

CIE Illuminant D75 shall be used to simulate outdoor hemispherical diffuse illumination, and D50 or D65 should be used to simulate indoor diffuse illumination. The relative spectral distributions of CIE Illuminant A, D50, D65, and D75 tabulated in CIE 15 shall be used. If additional daylight illuminants are desired, the following relation from CIE 15 shall be used:

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) + M_1 E_1(\lambda) + M_2 E_2(\lambda) \quad (8)$$

where the E_0 , E_1 , and E_2 eigenfunctions are tabulated in CIE 15, and M_1 and M_2 are eigenvalues defined in the same document. For example, M_1 and M_2 are given in Table 1 for the case of D50 and D75.

Table 1 – Eigenvalues M_1 and M_2 for CIE daylight Illuminants D50 and D75

Eigenvalues	Correlated colour temperature	
	5 000 K	7 500 K
M_1	–1,040 1	0,143 58
M_2	0,366 66	–0,759 93

For luminance measurements, the photometric equivalent of Equation (6) is used:

$$\rho_Q = \rho_{\text{std}} \frac{L_{Q,\text{hemi}}}{L_{\text{std,hemi}}} \quad (9)$$

This relation is only valid when the measurement is made with the same geometry and spectral distribution as that used to calibrate the white diffuse reflectance standard ρ_{std} . In addition, any display performance calculation using the luminous hemispherical diffuse reflectance by the photometric method in Equation (9) is only valid for light sources with similar spectra and geometry.

- f) Record the correlated colour temperature (CCT) of the display test illumination, the test configuration, ρ_Q , and the illuminance E_{hemi} on the white diffuse reflectance standard in the report. For spectral measurements, the spectral irradiance $E_{\text{hemi}}(\lambda)$ is first determined

by using $L_{\text{std,hemi}}(\lambda)$ in the wavelength-dependent form of Equation (3). The illuminance E_{hemi} can then be obtained from the general relation:

$$E = 683 \int_{\lambda} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

For luminance measurements, the illuminance E_{hemi} is determined directly by Equation (3) using the white reflectance standard luminance $L_{\text{std,hemi}}$.

5.1.4 Measuring the reflectance factor for a directed light source

- Align the LMD at the desired display viewing angle.
- Position the directed source in the desired illumination geometry. In general, the isolated directed source geometry shall be used, unless the display exhibits strong matrix scatter. For displays that exhibit matrix scatter, the ring light source shall be used. Turn ON the directed light source at the desired CCT, and wait for the light source to stabilize. Adjust the source intensity so that the light reflected off the display produces a strong signal at the LMD.
- Set the DUT to a full screen of the desired colour Q at the highest reflective level.
- Measure the spectral radiance $L_{Q,\text{dir}}(\lambda)$ or luminance $L_{Q,\text{dir}}$ at the desired measurement position on the display, where $L_{Q,\text{dir}} = Y_{Q,\text{dir}}$ for a colorimeter. For spectral measurements, the luminance $L_{Q,\text{dir}}$ from the display with directional illumination can be calculated using Equation (5).
- Remove the display and place the white diffuse reflectance standard in the same measurement plane of the LMD.
- Measure the spectral radiance $L_{\text{std,dir}}(\lambda)$ or luminance $L_{\text{std,dir}}$ from the calibrated white diffuse reflectance standard. For spectral measurements, the spectral irradiance $E_{\text{dir}}(\lambda)$ on the white diffuse reflectance standard and display can be determined by the wavelength-dependent form of Equation (3), where $R(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda)$ is the known spectral reflectance factor for the white diffuse reflectance standard in the same geometry. The illuminance E_{dir} on the display can be calculated using Equation (10). For photometric measurements, the illuminance E_{dir} is calculated directly using Equation (3).
- Calculate the spectral reflectance factor $R_{\text{dir}}(\lambda)$, or luminous reflectance factor R_{dir} , of the display colour with directional illumination for the measured illumination/detection geometry.

For spectral measurements, the spectral reflectance factor $R_{\text{dir}}(\lambda)$ is determined using the following equation:

$$R_{Q,\text{dir}}(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda) \frac{L_{Q,\text{dir}}(\lambda)}{L_{\text{std,dir}}(\lambda)} \quad (11)$$

The following equation shall be used to calculate the luminous reflectance factor $R_{Q,\text{dir}}$ for a display at colour Q with directional illumination having the desired spectral distribution:

$$R_{Q,\text{dir}} = \frac{\int_{\lambda} R_{Q,\text{dir}}(\lambda) E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (12)$$

where $E_{\text{dir}}(\lambda)$ is the relative spectral distribution for the desired illumination spectra. To simulate indoor illumination environments, the same illumination spectra shall be used in this calculation as for the hemispherical diffuse reflectance factor (Equation (7)). When simulating the outdoor illumination environment of direct sunlight, CIE Illuminant D50 shall be used for $E_{\text{dir}}(\lambda)$.

For photometric measurements, an analogous relation to Equation (11) is used to determine R_{dir} . This relation is only valid when the measurement is made with the same geometry and spectral distribution as that used to calibrate the white diffuse reflectance standard $R_{\text{std,dir}}$.

- h) Record the CCT of the display test illumination, detector parameters (viewing angle, measurement field angle, distance to sample), illumination source parameters (incident angle, angular subtense, distance to sample, beam divergence), $R_{\text{Q,dir}}$, and the measured illumination level E_{dir} in the report.

5.2 Display photometric in-plane uniformity

5.2.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the photometric in-plane uniformity of an EPD using the standard directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.2.2 Measuring equipment

- a) Apparatus:

A luminance meter, colorimeter or spectroradiometer; a driving power source; a driving signal equipment; a means to translate the display or detector/source in the vertical and horizontal directions; and a diffuse white reflection standard calibrated for the illumination/detection geometry being used. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer, colorimeter, or photometer.

- b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a stable and spectrally smooth broadband visible light source (e.g. incandescent lamp) shall be used. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

5.2.3 Measurement method

5.2.3.1 Hemispherical illumination

- a) Set up the standard hemispherical illumination/detection geometry.
- b) Place the display in the measurement plane of the light source and detector. Set the display to a full screen at the desired colour Q at the highest reflective level. Allow the source, detector, and display to stabilize.
- c) If the display is small and placed inside of an integrating sphere, move the display laterally in the measurement plane and take sequential measurements at the five (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} and P_{23}) or nine (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} and P_{23}) locations defined in Figure 8. If the display is large and a sampling sphere or hemisphere is used, move the sampling sphere or hemisphere laterally to each of the same five or nine locations on the display. The luminous reflectance $\rho_{\text{Q,P}_i}$ is measured at each location P_i . For spectroradiometer measurements, determine the spectral reflectance $\rho_{\text{Q,P}_i}(\lambda)$ at each location. Then calculate the equivalent luminous reflectance for a CIE D50 or D65 Illuminant at each location.

5.2.3.2 Directional illumination

- a) Set up the standard directional illumination/detection geometry.
- b) Place the display in the measurement plane of the light source and detector. Set the display to a full screen at the desired colour Q at the highest reflective level. Allow the source, detector, and display to stabilize.
- c) Move the display laterally in the measurement plane and take sequential measurements at the five (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} and P_{23}) or nine (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} and P_{23}) locations defined in Figure 8. Determine the luminous reflectance factor $R_{\text{Q,P}_i}$ at each location P_i . For spectroradiometer measurements, determine the spectral

reflectance factor $R_{Q,P_i}(\lambda)$ at each location. Then calculate the equivalent luminous reflectance for a CIE D50 or D65 Illuminant at each location.

5.2.4 Definitions and evaluations

The percent photometric non-uniformity of the display at colour Q under hemispherical illumination is given by:

$$NU_{Q,\text{hemi}}(\lambda) = 100\% \frac{\rho_{Q,\text{max}} - \rho_{Q,\text{min}}}{\rho_{Q,\text{max}}} \quad (13)$$

where $\rho_{Q,\text{max}}$ and $\rho_{Q,\text{min}}$ are the maximum and minimum luminous reflectance values, respectively, of the measured locations. For directional illumination, the percent photometric non-uniformity of the display at colour Q is given by:

$$NU_{Q,\text{dir}}(\lambda) = 100\% \frac{R_{Q,\text{max}} - R_{Q,\text{min}}}{R_{Q,\text{max}}} \quad (14)$$

where $R_{Q,\text{max}}$ and $R_{Q,\text{min}}$ are the maximum and minimum luminous reflectance factor values, respectively, of the measured locations.

The photometric non-uniformity value should be reported with the description of the illumination/detection geometry and the light source CCT at which it was measured or calculated (e.g. referenced to CIE D65).

5.3 Contrast ratio

5.3.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the contrast ratio of an EPD under defined directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.3.2 Measuring equipment

a) Apparatus:

A luminance meter, colorimeter or spectroradiometer that can measure luminance; a driving power source; and a driving signal equipment. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer, colorimeter, or photometer.

b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a stable and spectrally smooth broadband visible light source (e.g. incandescent lamp) shall be used. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

5.3.3 Measurement method

- Establish the illumination/detection measuring setup by using one of the standard illumination and detector geometries. The recommended conditions should be used. Record the illumination/detection geometry used in the measurement in the report.
- Set the DUT to the desired colour Q with a full screen at the highest reflective level. A white screen is recommended. Align the LMD to the screen centre (position P_0) at the standard viewing angle.
- Measure the display luminance $L_{Q,\text{high}}$ at the highest reflective level.

If a spectroradiometer is used, first measure the spectral reflectance factor using the procedure in 5.1. Then determine the luminous reflectance factor $R_{Q,high}$ using Equations (5) and (6) for hemispherical illumination, or Equations (10) and (11) for directional illumination, where $E(\lambda)$ is the relative spectral distribution for CIE D50 or D65.

- d) Set the DUT to the lowest reflective level.
- e) Measure the display luminance $L_{Q,low}$ at the lowest reflective level.

The same illumination spectra shall be used to calculate the luminous reflectance factor $R_{Q,low}$ at the lowest reflective level as was used for the highest reflective level.

5.3.4 Definitions and evaluations

The contrast ratio CR is defined as:

$$CR = \frac{L_{Q,high}}{L_{Q,low}} \quad (15)$$

If a spectroradiometer was used to measure the DUT's luminous reflectance factors for CIE D50 or D65 illumination, then the contrast ratio can be determined by:

$$CR = \frac{R_{Q,high}}{R_{Q,low}} \quad (16)$$

NOTE If the measurement is done using hemispherical illumination, the result can be noted as $CR_{Q,hemi}$; if directional illumination is used, the measurement result can be noted as $CR_{Q,dir}$.

The report shall indicate the illumination spectra used for the contrast ratio measurement.

5.4 Ambient contrast ratio

5.4.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the ambient contrast ratio of an EPD under defined indoor or daylight illumination conditions. It is calculated based on prior reflection measurements.

5.4.2 Measuring conditions

- a) Illuminance condition:

The standard ambient illumination conditions for an indoor room or clear sky daylight shall be used. Additional illumination conditions (such as D50 or D65) may also be used, depending on the application.

- b) Except for the standard ambient illumination conditions, all other conditions are the standard measuring conditions.

5.4.3 Measuring method

The ambient contrast ratio is determined from reflection measurements of the display under hemispherical diffuse and directed source illumination conditions. The measuring method for hemispherical diffuse reflectance and directed reflectance factor of the display for the required illumination spectra is defined in 5.1.3 and 5.1.4. These reflection parameters are used to calculate the combined reflected luminance of a display at its lowest reflective grey level (colour K) and highest reflective grey level (colour W) at the required illuminance levels. The ambient contrast ratio is the ratio of the combined high state luminance to the combined low state luminance.

Calculate the indoor room or daylight contrast ratio using the following equation:

$$ACR = \frac{\left(R_{W,dir} + \rho_W \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_s} \right)}{\left(R_{K,dir} + \rho_K \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_s} \right)} \quad (17)$$

where the default parameters are $E_{hemi} = 300$ lx, $\theta_s = 45^\circ$, and $E_{dir} \cos \theta_s = 200$ lx for a reading room, and $E_{hemi} = 15\,000$ lx, $\theta_s = 45^\circ$, and $E_{dir} \cos \theta_s = 65\,000$ lx for the outdoor daylight contrast ratio. If additional geometries or illuminance levels are used, they shall be noted in the report. All values used to calculate the ambient contrast ratio shall be recorded in the report.

5.5 Cross-talk

5.5.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the photometric cross-talk of an EPD using the standard directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.5.2 Measuring equipment

a) Apparatus:

A luminance meter, colorimeter or spectroradiometer that can measure luminance; a driving power source; and a driving signal equipment. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer, colorimeter, or photometer.

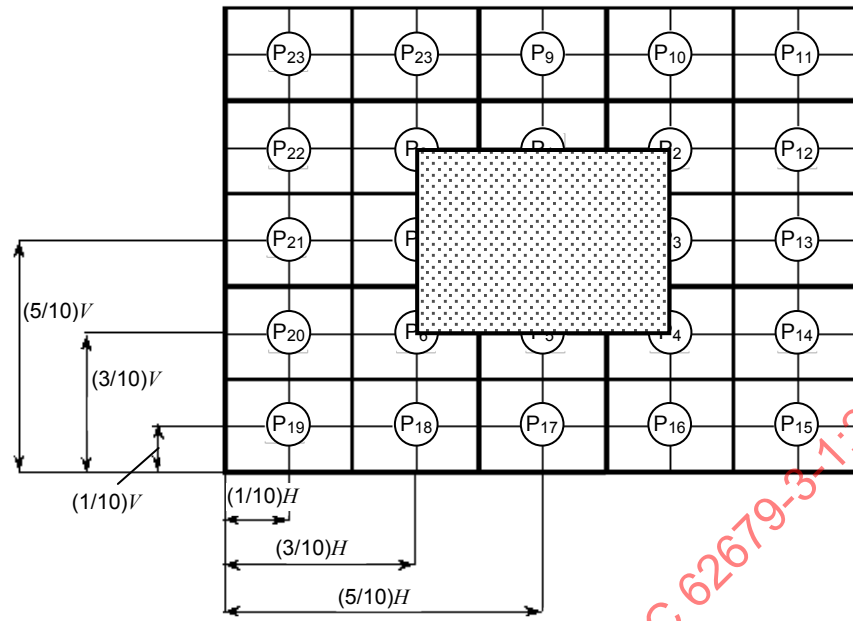
b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a stable and spectrally smooth broadband visible light source (e.g. incandescent lamp) shall be used. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

5.5.3 Greyscale matrix displays

5.5.3.1 Measuring method

- The display is driven with a full screen colour Q at an input signal level that is 50 % of full scale. For example, in an 8-bit RGB system, a primary colour would be set at the 128 signal level. It is recommended that at least a grey colour be used in this measurement. Allow the screen to stabilize for at least 3 seconds. The reflectance, or reflectance factor, is then measured at locations P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} at normal to the screen (or the $di:8^\circ$ configuration for hemispherical illumination). The measured reflectance factor at each location P_i is $R_{ref}[i]$.
- The display is driven to produce a black rectangle (lowest reflective level) over the previous image with corners defined by the centres of position P_2 , P_4 , P_6 and P_8 (see Figure 9). Allow the screen to stabilize for at least 3 seconds. The reflectance factor $R_K[i]$ at locations P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} is re-measured.
- Finally, the image data within the above-defined rectangle is changed to full white (highest reflective level). Allow the screen to stabilize for at least 3 seconds, then measure the reflectance factor $R_W[i]$ at locations P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} .



IEC 1031/14

Figure 9 – Window pattern for cross-talk measurement

5.5.3.2 Definitions and evaluations

The horizontal white cross-talk HXT_W is defined as:

$$HXT_W(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W[21] - R_{ref}[21]}{R_{ref}[21]} \right| \vee \left| \frac{R_W[13] - R_{ref}[13]}{R_{ref}[13]} \right| \right) \quad [\%] \quad (18)$$

where the operator $\max(|A| \vee |B|)$ yields the maximum absolute value between A and B.

The horizontal black cross-talk HXT_K is defined as:

$$HXT_K(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K[21] - R_{ref}[21]}{R_{ref}[21]} \right| \vee \left| \frac{R_K[13] - R_{ref}[13]}{R_{ref}[13]} \right| \right) \quad [\%] \quad (19)$$

The (total) horizontal cross-talk HXT is now defined as:

$$HXT = \max(HXT_W \vee HXT_K) \quad (20)$$

In the same manner, the vertical white cross-talk VXT_W is defined as:

$$VXT_W(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W[9] - R_{ref}[9]}{R_{ref}[9]} \right| \vee \left| \frac{R_W[17] - R_{ref}[17]}{R_{ref}[17]} \right| \right) \quad [\%] \quad (21)$$

The vertical black cross-talk VXT_K is defined as:

$$VXT_K(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K[9] - R_{ref}[9]}{R_{ref}[9]} \right|, \left| \frac{R_K[17] - R_{ref}[17]}{R_{ref}[17]} \right| \right) \quad [\%] \quad (22)$$

and the (total) vertical cross-talk VXT is defined as:

$$VXT = \max(VXT_W \vee VXT_K) \quad (23)$$

5.5.4 Black and white (two-level) matrix displays

5.5.4.1 Measuring method

- Supply a full screen signal to the device that produces the maximum reflection state. Then measure the reflectance factor at positions P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} at normal incidence to the screen. Define the measured reflectance factor at position P_i as $R_{\max,ref}[i]$.
- The drive level within a rectangle defined by the centres of position P_2 , P_4 , P_6 and P_8 (see Figure 9) is changed to the lowest reflection state, and the reflectance factor at positions P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} is re-measured and called $R_{\min}[i]$.
- Supply a full screen signal to the device that produces the minimum reflection state. Then measure the reflectance factor at positions P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} . Define the measured reflectance factor at position P_i as $R_{\min,ref}[i]$.
- The drive level within a rectangle defined by the centres of position P_2 , P_4 , P_6 and P_8 (see Figure 9) is changed to the highest reflection state and the reflectance factor at positions P_9 , P_{13} , P_{17} and P_{21} is re-measured and called $R_{\max}[i]$.

5.5.4.2 Definitions and evaluations

The minimum-of-maximum cross-talk $XT_{\min/\max}$ is defined as:

$$XT_{\min/\max}(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{\min}[i] - R_{\max,ref}[i]}{R_{\max,ref}[i]} \right|; i = 9,13,17,21 \right) \quad [\%] \quad (24)$$

The maximum-of-minimum cross-talk $XT_{\max/\min}$ is defined as:

$$XT_{\max/\min}(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{\max}[i] - R_{\min,ref}[i]}{R_{\min,ref}[i]} \right|; i = 9,13,17,21 \right) \quad [\%] \quad (25)$$

The result of this measurement can be considerably affected by the sensitivity of the LMD. The measurement conditions shall be reported.

5.6 Display colour, colour gamut, and colour gamut area

5.6.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the chromaticity and colour gamut of an EPD at a given colour Q under defined directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.6.2 Measuring equipment

- Apparatus:

A spectroradiometer; a driving power source; a driving signal equipment; and a diffuse white reflection standard calibrated for the illumination/detection geometry being used. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer.

b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. A spectrally smooth broadband light source shall be used, such as a stable incandescent lamp. Additional illumination conditions may also be used, depending on the application. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

5.6.3 Measurement method

- a) Establish the illumination/detection measuring setup by using one of the standard illumination and detector geometries. The recommended conditions should be used. Record the illumination/detection geometry used in the measurement in the report.
- b) Set the DUT to the desired colour Q with a full screen at the highest reflective level. Align the LMD to the screen centre (position P_0) at the standard viewing direction.
- c) Measure the spectral reflectance factor ($\rho_{Q,high}(\lambda)$ or $R_{Q,high}(\lambda)$) for the display colour Q . Then determine the luminous reflectance $\rho_{Q,high}$ using Equations (6) and (7) for hemispherical illumination, or the luminous reflectance factor $R_{Q,high}$ using Equations (11) and (12) for directional illumination, where $E(\lambda)$ is the relative spectral distribution for CIE Illuminant D50 or D65.

5.6.4 Definitions and evaluations

The normalized tristimulus values of a display at colour state Q under hemispherical illumination, with a CIE Illuminant D50 or D65 spectral distribution $E_D(\lambda)$, are given by:

$$X'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (26)$$

$$Y'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (27)$$

$$Z'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (28)$$

and

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (29)$$

where $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, and $\bar{z}(\lambda)$ are the colour matching functions (see CIE 15). A similar analysis is done to determine the normalized tristimulus values for directional illumination, with $R_{Q,high}$ substituted for $\rho_{Q,high}$. The CIE 1931 XYZ colour space defines the (x, y) chromaticity coordinates of the display at the desired colour state Q under the defined illumination conditions:

$$x_Q = \frac{X'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (30)$$

$$y_Q = \frac{Y'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (31)$$

Since the XYZ colour space is not perceptually uniform, it is recommended to express the display colour in the CIE 1976 uniform colour space (CIE 1976 UCS) with the (u', v') chromaticity coordinates:

$$u'_Q = \frac{4X'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{4x_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (32)$$

$$v'_Q = \frac{9Y'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{9y_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (33)$$

5.6.5 Display colour gamut

The display colour gamut is determined by measuring the 1931 CIE (x, y) chromaticity coordinates of each colour primary in sequence at their highest reflection level. The chromaticity coordinates of the white colour should also be measured for the given illumination source with all primaries at their highest reflection levels. All primary colours and white point should be tabulated in the report. The colour gamut is illustrated by the triangle in the 1931 CIE (x, y) chromaticity diagram formed by the measured primary chromaticities (x_R, y_R) , (x_G, y_G) and (x_B, y_B) as corner points (see Figure 10). The following metrics for determining the colour gamut will be used: colour gamut area in a 2-dimensional chromaticity diagram, and colour gamut volume in a 3-dimensional colour space. Uniform colour spaces such as CIELUV and CIELAB should be used for determining these colour gamut metrics.

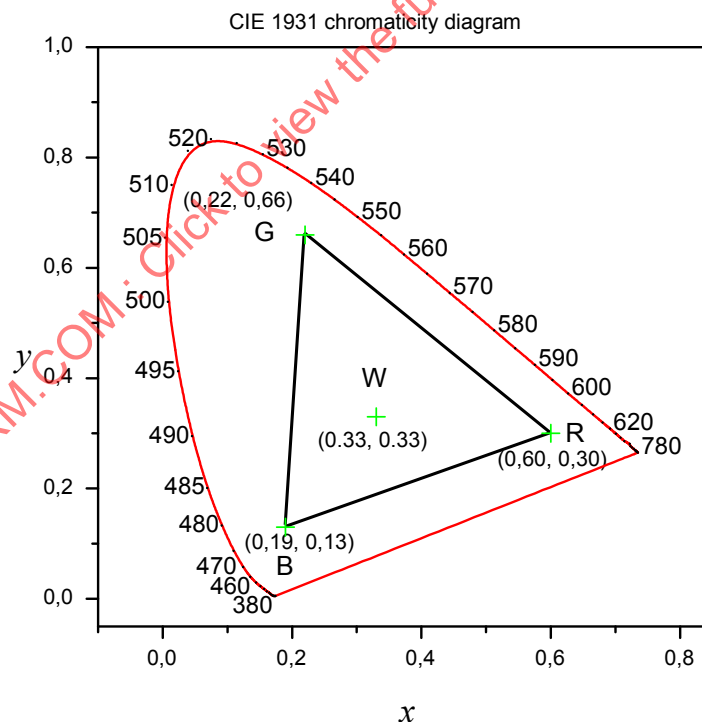


Figure 10 – Example of display colour gamut

5.6.6 Display colour gamut area

5.6.6.1 Colour gamut area in the CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram

The display colour gamut area can be determined by measuring the CIE 1976 UCS (u', v') chromaticity coordinates of each colour primary in sequence at their highest reflection level. If

the measurement data are CIE 1931 (x, y) chromaticities, the transformations in Equations (32) and (33) are used. The colour gamut area is calculated as the area of the triangle subtended by the CIE 1976 UCS chromaticities (u'_R, v'_R) , (u'_G, v'_G) , (u'_B, v'_B) of the display primaries, and reported as percentage relative to the area within the entire spectrum locus: $A = 256,1 \cdot |(u'_R - u'_B)(v'_G - v'_B) - (u'_G - u'_B)(v'_R - v'_B)|$, where the subscripts R, G and B refer to the red, green, and blue primaries. For example, the colour gamut area for the example in Figure 10 would be 25 % and that of the sRGB primaries (IEC 61966-2-1) having the (x, y) chromaticities red (0,64, 0,33), green (0,30, 0,60), and blue (0,15, 0,06) would be 33 %.

5.6.6.2 Colour gamut area in CIELAB 1976

The perceived colour gamut area can also be calculated in the a^*b^* plane of the 1976 CIELAB colour space. First measure the spectral reflectance factors (Equations (6) or (11)) of the full screen colours indicated in Table 2. Then determine the normalized tristimulus values for a D50 or D65 reference white using Equations (26) to (29). Finally, calculate the CIELAB L^* , a^* , and b^* values for each colour Q using the following equations;

$$L^* = 116 \times f(Y/Y_n) - 16 \quad (34)$$

$$a^* = 500 \times [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (35)$$

$$b^* = 200 \times [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (36)$$

where

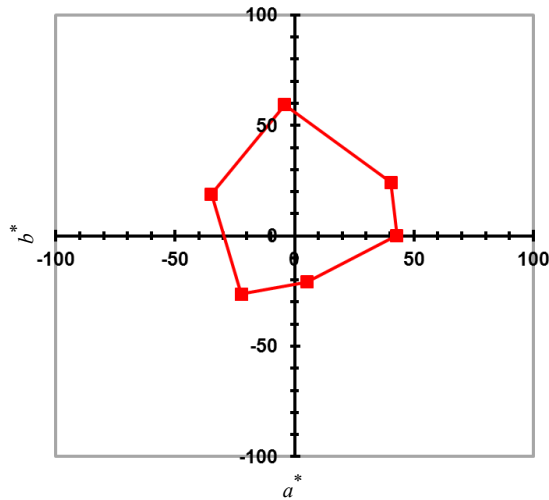
$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > (6/29)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{16}{116} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (37)$$

with X_n, Y_n , and Z_n representing the tristimulus values of a perfect white Lambertian diffuser, and X, Y , and Z representing the other colours in Table 2. Tabulated tristimulus values for a perfect white Lambertian diffuser illuminated by various CIE Illuminants are given in IEC 61966-2-1, including CIE Illuminant D50 ($X_n = 96,43$, $Y_n = 100$, and $Z_n = 82,51$) and D65 ($X_n = 95,046$, $Y_n = 100$, and $Z_n = 108,906$).

Table 2 – Input signals for CIELAB and CIE UCS $u'v'$ colour gamut area measurements

Colour Q	8-bit signal level		
	R	G	B
Red	255	0	0
Green	0	255	0
Blue	0	0	255
Yellow	255	255	0
Magenta	255	0	255
Cyan	0	255	255
White	255	255	255
NOTE The colour "white" is not necessary for evaluation of the colour gamut area. The "white" colour is included in this table only to show the white point in the CIE UCS $u'v'$ diagram.			

The a^* and b^* values of the saturated colours in Table 2 are plotted on the a^*b^* plane of the CIELAB colour space. An example is given in Figure 11.



IEC 1033/14

Figure 11 – Example of evaluation results for the colour gamut area on the a^*b^* plane of the CIELAB colour space

The device colour gamut area boundary is represented by the measured saturated colours. An approximation of the colour gamut area (A) shall be calculated by:

$$A = \frac{1}{2} \left\{ (a_1^* - a_2^*)(b_1^* + b_2^*) + (a_2^* - a_3^*)(b_2^* + b_3^*) + \dots + (a_5^* - a_6^*)(b_5^* + b_6^*) + (a_6^* - a_1^*)(b_6^* + b_1^*) \right\} \quad (38)$$

where (a_i^*, b_i^*) is the coordinate value of the i^{th} colour on the a^*b^* plane.

5.7 Display colorimetric in-plane uniformity

5.7.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the colorimetric in-plane uniformity of an EPD using the standard directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.7.2 Measuring equipment

a) Apparatus:

A spectroradiometer; a driving power source; a driving signal equipment; a means to translate the display or detector/light source in the vertical and horizontal directions; and a diffuse white reflection standard calibrated for the illumination/detection geometry being used. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer.

b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. A spectrally smooth broadband light source shall be used, such as a stable incandescent lamp. The illumination/detection geometry used, and the source CCT, shall be reported.

5.7.3 Measurement method

5.7.3.1 Hemispherical illumination

a) Set up the standard hemispherical illumination/detection geometry.

- b) Place the display in the measurement plane of the light source and detector. Set the display to a full screen at the desired colour Q at the highest reflective level. Allow the source, detector, and display to stabilize.
- c) If the display is small and placed inside of an integrating sphere, move the display laterally in the measurement plane and take sequential measurements at the five (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} and P_{23}) or nine (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} and P_{23}) locations defined in Figure 8. If the display is large and a sampling sphere or hemisphere is used, move the sampling sphere or hemisphere laterally to each of the same five or nine locations on the display. Measure the spectral reflectance $\rho_{Q,P_i}(\lambda)$ at each location P_i . Then calculate the reflected CIE 1976 chromaticity coordinates (u'_{Q,P_i} , v'_{Q,P_i}) for a CIE D50 or D65 Illuminant at each location using Equations (26) to (33).

5.7.3.2 Directional illumination

- a) Set up the standard directional illumination/detection geometry.
- b) Place the display in the measurement plane of the light source and detector. Set the display to a full screen at the desired colour Q at the highest reflective level. Allow the source, detector, and display to stabilize.
- c) Move the display laterally in the measurement plane and take sequential measurements at the five (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} and P_{23}) or nine (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} and P_{23}) locations defined in Figure 8. Measure the spectral reflectance factor $R_{Q,P_i}(\lambda)$ at each location P_i . Then calculate the reflected CIE 1976 chromaticity coordinates (u'_{Q,P_i}, v'_{Q,P_i}) for a CIE D50 or D65 Illuminant at each location using the analysis in Equations (26) to (33).

5.7.4 Definitions and evaluations

Use the CIE 1976 chromaticity coordinates (u'_{Q,P_i} , v'_{Q,P_i}) at each location P_i to determine the difference in colour between pairs of sampled colours using the following chromaticity difference equation:

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_k - u'_l)^2 + (v'_k - v'_l)^2} \quad (39)$$

for $k, l = 0$ to 4 or 8 , and $k \neq l$. Colour non-uniformity is defined as the largest sampled chromaticity difference $(\Delta u', v')_{\max}$ between any two measurement locations. An example of a 9-point measurement is given in Table 3. The largest chromaticity difference can be narrowed down by plotting the nine (u'_{Q,P_i}, v'_{Q,P_i}) coordinates rather than calculating all (u', v') pairs. Report the largest chromaticity difference to at least 3 decimals.

Table 3 – Example data of in-plane colour non-uniformity

Measuring point	x_i	y_i	u'_i	v'_i	$\Delta u'v'$								
					P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
P_0	0,311	0,325	0,198	0,466	0,000								
P_1	0,330	0,320	0,214	0,466	0,016	0,000							
P_2	0,307	0,323	0,196	0,464	0,003	0,018	0,000						
P_3	0,309	0,328	0,196	0,467	0,002	0,018	0,003	0,000					
P_4	0,310	0,326	0,197	0,466	0,001	0,017	0,002	0,001	0,000				
P_5	0,303	0,319	0,195	0,461	0,006	0,020	0,003	0,006	0,005	0,000			
P_6	0,311	0,324	0,199	0,465	0,001	0,015	0,003	0,004	0,002	0,006	0,000		
P_7	0,315	0,320	0,203	0,464	0,005	0,011	0,007	0,008	0,006	0,009	0,004	0,000	
P_8	0,314	0,327	0,199	0,467	0,001	0,015	0,004	0,003	0,002	0,007	0,002	0,005	0,000

Max $\Delta u'v' = 0,020$

The colour non-uniformity value should be reported with the description of the illumination/detection geometry and the light source CCT at which it was measured and calculated (e.g. referenced to CIE Illuminant D50 or D65).

5.8 Daylight display colour

5.8.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the colour of an EPD under defined daylight illumination conditions. It is calculated based on prior reflection measurements.

5.8.2 Measuring conditions

a) Illuminance condition:

The standard daylight illumination conditions for clear sky daylight shall be used. Additional illumination conditions (such as D50 or D65) may also be used, depending on the application.

b) Except for the standard daylight illumination conditions, all other conditions are the standard measuring conditions.

5.8.3 Measuring method

The chromaticity of a display under hemispherical diffuse and directional illumination conditions at a given colour state Q (e.g. white, black, red, green, or blue screen) is determined by its equivalent daylight tristimulus values. These values can be obtained from reflection measurements of the display under hemispherical diffuse and directed source illumination conditions at that colour. The measuring methods for the hemispherical diffuse spectral reflectance factor and directed spectral reflectance factor of the display are described in 5.1.3 and 5.1.4.

The total daylight spectral radiance $L_{Q,day}(\lambda)$ measured by a detector near the display normal, with reflections from both the hemispherical diffuse and directed sources included, will be:

$$L_{Q,day}(\lambda) = \frac{R_{Q,hemi}(\lambda)E_{hemi}(\lambda)}{\pi} + \frac{R_{Q,dir}(\lambda)E_{dir}(\lambda)\cos\theta_s}{\pi} \quad (40)$$

where $E_{hemi}(\lambda)$ and $E_{dir}(\lambda)$ are the irradiance spectra for the standard hemispherical diffuse and directed sources, respectively. The relative irradiance spectra of CIE Illuminants D75 and D50 for daylight illumination are defined by CIE 15. $E_{hemi}(\lambda)$ and $E_{dir}(\lambda)$ are obtained by multiplying the relative spectra by an appropriate scale factor that would produce the standard illumination levels $E_{hemi} = 15\,000\text{ lx}$ and $E_{dir}\cos\theta_s = 65\,000\text{ lx}$ at $\theta_s = 45^\circ$ for outdoor daylight under clear sky conditions when integrated using Equation (10). If additional geometries or illuminance levels are used, they shall be noted in the report. The effective daylight tristimulus values of the display under these illumination conditions are:

$$X_{Q,day} = 683 \int_{\lambda} L_{Q,day}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (41)$$

$$Y_{Q,day} = 683 \int_{\lambda} L_{Q,day}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (42)$$

$$Z_{Q,day} = 683 \int_{\lambda} L_{Q,day}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (43)$$

where $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, and $\bar{z}(\lambda)$ are the colour matching functions (see CIE 15). The daylight CIE 1931, and CIE 1976, chromaticity coordinates of the display at the desired colour state Q under the defined daylight illumination conditions can be calculated using similar equations as Equations (30) to (33).

5.9 Daylight colour gamut volume

5.9.1 Purpose

The purpose of this method is to measure the daylight colour gamut volume of an EPD under standard daylight illumination conditions. This colour gamut volume shall be compared to the IEC sRGB standard (IEC 61966-2-1) colour gamut volume with a D65 white point. This method is limited to EPDs with RGB primaries.

5.9.2 Measuring conditions

a) Illuminance condition:

The standard daylight illumination conditions for clear sky daylight shall be used. Additional illumination conditions (such as D50 or D65) may also be used, depending on the application.

b) Except for the standard daylight illumination conditions, all other conditions are the standard measuring conditions.

5.9.3 Measuring method

The daylight colour gamut volume will be calculated from the reflectance factor and tristimulus values measured for each displayed colour following the procedures in 5.1.3 and 5.1.4. The measurements and calculations shall be consistently performed on a full screen test pattern.

The daylight colour gamut will be represented by the convex hull of display colours measured within the CIELAB colour space under the defined daylight lighting conditions. The volume of that colour space under daylight display illumination is determined by the following procedure:

- Apply a full screen pattern, for at least 8 defined colours. The colours shall uniformly sample the display's colour capability. For example, a display with the 3 primaries red, green, blue shall be measured for at least the primaries (red, green, blue), all mixtures of primary pairs (cyan, magenta, yellow), black and 100 % grey level white (see Table 4). Each colour (except black) is displayed at its maximum signal level.
- Each of the 8 or more colours is measured in sequence under the defined illuminations conditions using the measuring method from 5.8.

Table 4 – Example of minimum colours required for gamut volume calculation of a 3-primary 8-bit display

Colour Q	8-bit signal level		
	R	G	B
Red	255	0	0
Green	0	255	0
Blue	0	0	255
Yellow	255	255	0
Magenta	255	0	255
Cyan	0	255	255
White	255	255	255
Black	0	0	0

The daylight tristimulus values which are calculated for all defined display colours and signal levels shall be transformed into the three-dimensional, CIELAB colour space (see CIE 15). Additional three-dimensional uniform colour spaces may also be used, and identified in the report. Each colour point can be plotted on the L^* , a^* , and b^* axes of the CIELAB colour space by referencing the effective daylight tristimulus values $X_{Q,day}$, $Y_{Q,day}$, $Z_{Q,day}$ (Equations (41) to (43)) to the tristimulus values of a perfect white Lambertian diffuser ($X_{n,day}$, $Y_{n,day}$ and $Z_{n,day}$), using the following transformation equations:

$$L^* = 116 \times f(Y_{Q,day} / Y_{n,day}) - 16 \quad (44)$$

$$a^* = 500 \times [f(X_{Q,day} / X_{n,day}) - f(Y_{Q,day} / Y_{n,day})] \quad (45)$$

$$b^* = 200 \times [f(Y_{Q,day} / Y_{n,day}) - f(Z_{Q,day} / Z_{n,day})] \quad (46)$$

where

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > (6/29)^3 \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 t + \frac{16}{116} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (47)$$

The tristimulus values of a perfect white Lambertian diffuser can be obtained by using $\rho = R = 1$ in Equation (40).

An example of the daylight colour data in the CIELAB uniform colour space is given in Figure 12.

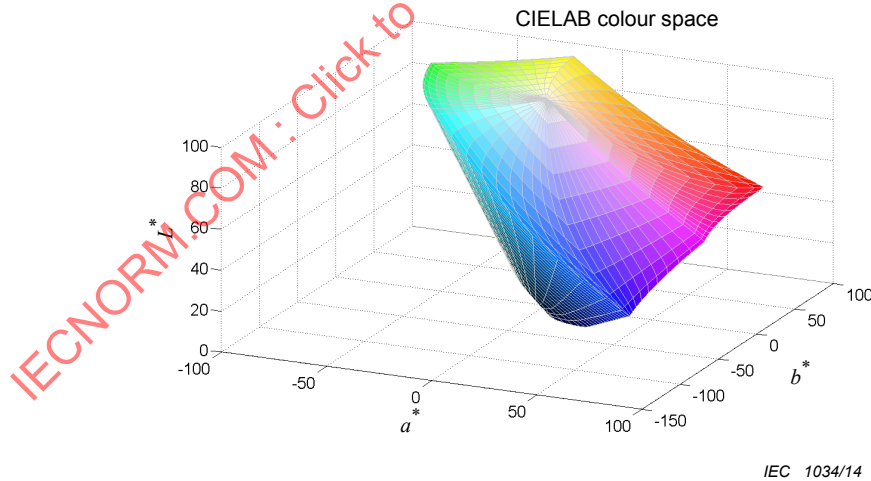


Figure 12 – An example of range in colours produced by a given display as represented by the CIELAB colour space

Calculate the colour gamut volume corresponding to the possible range of daylight display colours as represented in the CIELAB colour space. See Annex A for a detailed description of the analysis recommended to calculate the colour gamut volume. Other gamut calculation methods may be used if they yield the same results as the reference method described in Annex A.

5.9.4 Reporting

The CIELAB colour gamut volume shall be reported, along with the characteristics of the daylight illumination that were used. If additional colour spaces are used, they shall be reported as well. Report the spectral reflectance factors. The measured daylight tristimulus values shall all be reported as the original effective tristimulus values, i.e., they shall not be normalized to 100 (see Table 5). A separate table is required for each additional daylight illumination condition. The CCT and white chromaticity coordinates under the ambient conditions shall also be reported. The percent of colour gamut volume relative to the IEC sRGB standard colour space (IEC 61966-2-1) with a D65 white point shall be reported in a form described by Table 6.

Table 5 – Measured tristimulus values for the minimum set of colours (see Table 4) required for gamut volume calculation under the specified daylight illumination conditions

Colour Q	$X_{Q,amb}$	$Y_{Q,amb}$	$Z_{Q,amb}$
Red			
Green			
Blue			
Yellow			
Magenta			
Cyan			
White			
Black			

Table 6 – Colour gamut volume in the CIELAB colour space

Colour gamut volume	
Illumination conditions	Percent relative to sRGB ($8,20 \times 10^5$)
Daylight conditions	%

5.10 Viewing direction dependence

5.10.1 Purpose

The purpose of this method is to measure the photometric and colorimetric properties of the EPD over a range of viewing directions in the vertical and horizontal planes.

5.10.2 Measuring conditions

a) Apparatus:

A spectroradiometer that can measure spectral radiance; a driving power source; a means to change the viewing direction of the detector and rotation of the display; and a driving signal equipment. The signal equipment shall be used to deliver the appropriate analog or digital output signal to the EPD in order to produce the required colour test pattern.

b) Illuminance condition:

The standard directed source should be used to illuminate the centre of the display at an inclination angle of $\theta_S = 45^\circ$ and $\phi_S = 90^\circ$ azimuthal angle. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a spectrally smooth broadband light source shall be used, such as a stable incandescent lamp.

5.10.3 Measuring method

- Place the white reflectance standard in the centre of the defined measurement location.
- Align the directed source at an inclination angle of $\theta_s = 45^\circ$ and $\phi_s = 90^\circ$ azimuthal angle relative to the centre of the measurement location (see Figure 13). Align the detector normal to the reflection standard and position the measurement field in the centre of the illuminated area.
- Measure the spectral radiance $L_{\text{std},0^\circ}(\lambda)$ of the reflection standard at normal incidence.
- Replace the reflection standard with the EPD in the same measurement plane and centred on the illumination area. Drive the display to a full screen of the desired colour Q at the highest reflective level.
- Measure the spectral radiance $L_{Q,0^\circ}(\lambda)$ of the EPD at normal incidence. Calculate the luminous reflectance factor $R_{Q,0^\circ}$ using Equations (11) and (12), and the tristimulus values and chromaticity coordinated using Equations (26) to (33), for CIE Illuminant D50 or D65 illumination viewed at normal incidence.
- While maintaining the distance between the detector and the EPD, move the detector in the horizontal plane to the next viewing direction. It is recommended that viewing measurements be taken at the following viewing directions: $\theta_d = 75^\circ$ to -75° in no more than 15° increments. The measurement spot shall be contained within a uniform area of the illuminated spot on the screen for all viewing directions.

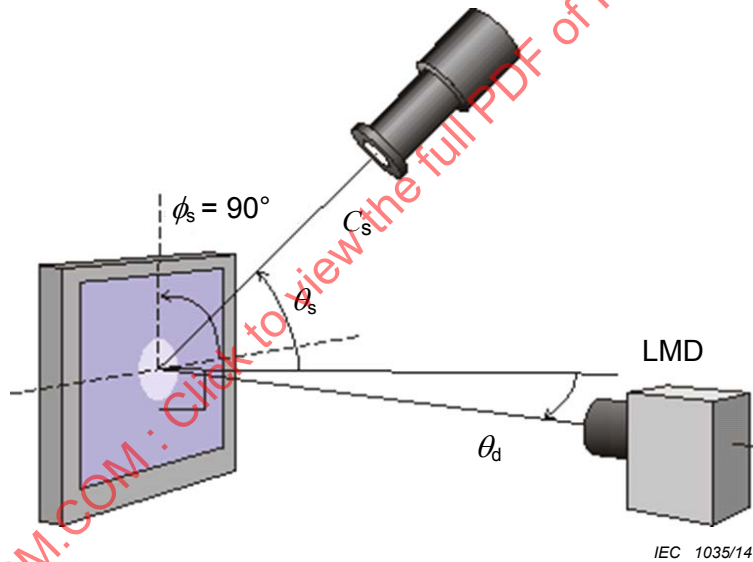


Figure 13 – Illumination/detection geometry for measuring the viewing direction properties of the display

- At each viewing position, measure the spectral radiance L_{Q,θ_d} of the EPD and calculate the spectral reflectance factor:

$$R_{Q,\theta_d}(\lambda) = R_{\text{std},0^\circ}(\lambda) \frac{L_{Q,\theta_d}(\lambda)}{L_{\text{std},0^\circ}(\lambda)} \quad (48)$$

where $R_{\text{std},0^\circ}$ is the calibrated reflectance factor of the reflection standard for that geometry at normal incidence viewing direction. Calculate the luminous reflectance factor R_{Q,θ_d} for the given viewing direction using Equation (12), and the tristimulus values and chromaticity coordinated using Equations (26) to (33) for D50 or D65 illumination.

At each viewing direction, the CIELAB L^* , a^* , and b^* for that colour can be calculated using the following equations:

$$L_{\theta_d}^* = 116 \times f(Y_{Q,\theta_d} / Y_{n,0^\circ}) - 16 \quad (49)$$

$$a_{\theta d}^* = 500 \times [f(X_{Q,\theta d} / X_{n,0^\circ}) - f(Y_{Q,\theta d} / Y_{n,0^\circ})] \quad (50)$$

$$b_{\theta d}^* = 200 \times [f(Y_{Q,\theta d} / Y_{n,0^\circ}) - f(Z_{Q,\theta d} / Z_{n,0^\circ})] \quad (51)$$

with

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > (6/29)^3 \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 t + \frac{16}{116} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (52)$$

where $X_{n,0^\circ}$, $Y_{n,0^\circ}$, and $Z_{n,0^\circ}$ represent the tristimulus values of a perfect white Lambertian diffuser at normal incidence viewing direction, and $X_{Q,\theta d}$, $Y_{Q,\theta d}$, and $Z_{Q,\theta d}$ represent the signal colour Q measured at a viewing direction θ_d .

Tabulated tristimulus values for a perfect white Lambertian diffuser illuminated by various CIE Illuminants are given in IEC 61966-2-1, including CIE Illuminants D50 ($X_{n,0^\circ} = 96,43$, $Y_{n,0^\circ} = 100$, and $Z_{n,0^\circ} = 82,51$) and D65 ($X_{n,0^\circ} = 95,046$, $Y_{n,0^\circ} = 100$, and $Z_{n,0^\circ} = 108,906$).

- h) Rotate the EPD 90° about the measurement plane, and repeat the viewing direction measurements for the vertical plane.
- i) Record the luminous reflectance factors and chromaticity coordinated for all measurements in the vertical and horizontal plane in the report. The illumination and detector configuration shall be described in detail.

5.10.4 Definitions and evaluations

The photometric viewing direction dependence of the EPD can be characterized for a white screen (or any colour Q) by a viewing direction ratio that quantifies the change in the luminous reflectance factor relative to the value at normal incidence:

$$VDR_{W,\theta d} = \frac{R_{W,\theta d}}{R_{W,0^\circ}} \quad (53)$$

or by the contrast ratio (white to black reflectance factors) as a function of viewing direction:

$$VDCR_{W,\theta d} = \frac{R_{W,\theta d}}{R_{K,\theta d}} \quad (54)$$

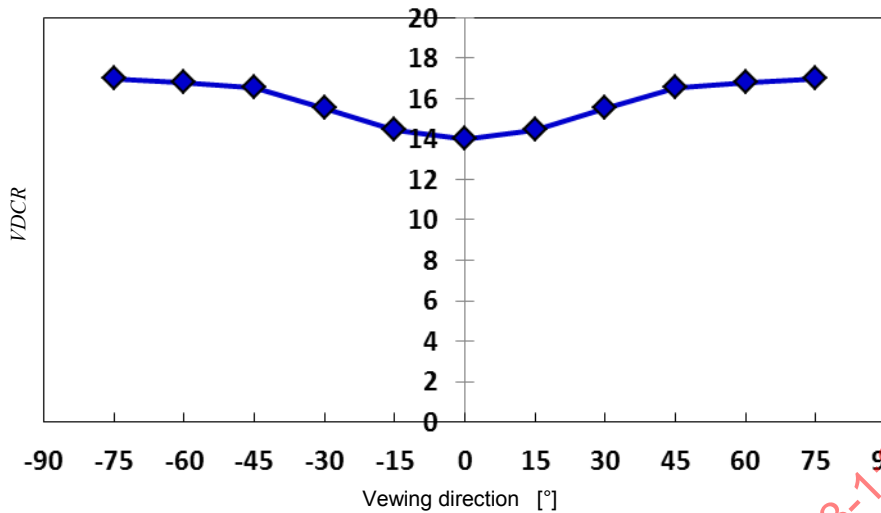


Figure 14 – Example of contrast ratio dependence on viewing direction

An example plot of the device contrast ratio dependence on the viewing direction is given in Figure 14. A similar plot can be made for the luminance or lightness difference relative to the value at normal incidence.

The change of spectral reflectance factor $R_{Q,\theta_d}(\lambda)$ with viewing direction θ_d can be characterized as a colour shift, represented by a change in a^* , b^* , hue angle, or chroma. Any colorimetric changes with the viewing direction can be summarized by the colour difference ΔE^*_{ab} in the CIELAB colour space. In this analysis, the CIELAB values at each viewing direction (L^*_{Q,θ_d} , a^*_{Q,θ_d} , and b^*_{Q,θ_d}) are used to calculate the CIELAB colour difference relative to the normal incidence values:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_{Q,\theta_d} - L^*_{Q,0^\circ})^2 + (a^*_{Q,\theta_d} - a^*_{Q,0^\circ})^2 + (b^*_{Q,\theta_d} - b^*_{Q,0^\circ})^2} \quad (55)$$

The colour difference formula (Equation (55)) is intended to apply to side-by-side colour comparisons with little or no spatial separation between the samples. In case of spatial or time separation, as it is the case in viewing-direction related colour differences, the weight given to the lightness component in the colour difference should be reduced.

It may also be desirable to distinguish between the components of colour difference in terms of correlates of chroma or hue. This can be achieved by using the CIE 1976 chroma C^* and CIE 1976 hue angle h , and expressing the colour differences in terms of CIE 1976 chroma difference ΔC^* , and CIE 1976 hue difference ΔH^* :

$$\Delta L^* = (L^*_{Q,\theta_d} - L^*_{Q,0^\circ}) \quad (56)$$

$$\Delta C^*_{ab} = \sqrt{(a^*_{Q,0^\circ})^2 + (b^*_{Q,0^\circ})^2} - \sqrt{(a^*_{Q,\theta_d})^2 + (b^*_{Q,\theta_d})^2} \quad (57)$$

$$\Delta H^*_{ab} = \sqrt{\Delta E^*_{ab}{}^2 - \Delta L^*{}^2 - \Delta C^*_{ab}{}^2} \quad (58)$$

The viewing direction dependence shall be summarized (over at least the $\theta_d = 0^\circ$ to 75° range) for the desired performance characteristics in the format recommended in Table 7.

Table 7 – Example format used for reporting viewing direction performance

Parameter	Viewing direction					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
$R_{Q,\theta d}$						
$VDCR$						
ΔE^*_{ab}						

5.11 Ghosting

5.11.1 Purpose

The purpose of this method is to determine the amount of photometric ghosting in an EPD using the standard directional or hemispherical diffuse illumination conditions.

5.11.2 Measuring equipment

a) Apparatus:

A luminance meter, colorimeter or spectroradiometer; a driving power source; a driving signal equipment; a means to translate the detector or display in vertical or horizontal direction; and a diffuse white reflection standard calibrated for the illumination/detection geometry being used. A contact spectrophotometer may also be used, if it has been demonstrated to be valid compared to a calibrated non-contact spectroradiometer.

b) Illumination condition:

The standard directional, ring light, or hemispherical illumination conditions shall be used. The illumination spectra should approximate CIE Illuminant D50 or D65. Otherwise, a spectrally smooth broadband light source shall be used, such as a stable incandescent lamp. The illumination/detection geometry used, and the light source CCT, shall be reported.

5.11.3 Measuring method

- Stabilize the screen to a ghost-free initial state. For example, by sending the display a full white screen image at the highest reflective level, allow it to dwell for at least 3 seconds, and repeat this process three times.
- Align a detector normal to the screen, and maintain orthogonality to the screen for all subsequent measurements. Measure the initial full screen white luminance $L_{pre}[P_i]$ at positions P_0 , P_1 , P_3 , P_5 and P_7 (see Figure 8).
- Establish a 4 % white window pattern (as shown in Figure 15) at the highest reflective level on the screen for 3 seconds. The surrounding screen area is set at the lowest reflective level.
- Re-establish a full white screen image at the highest reflective level on the screen and re-measure the luminance $L_{post}[P_i]$ at positions P_0 , P_1 , P_3 , P_5 and P_7 as quickly as possible.

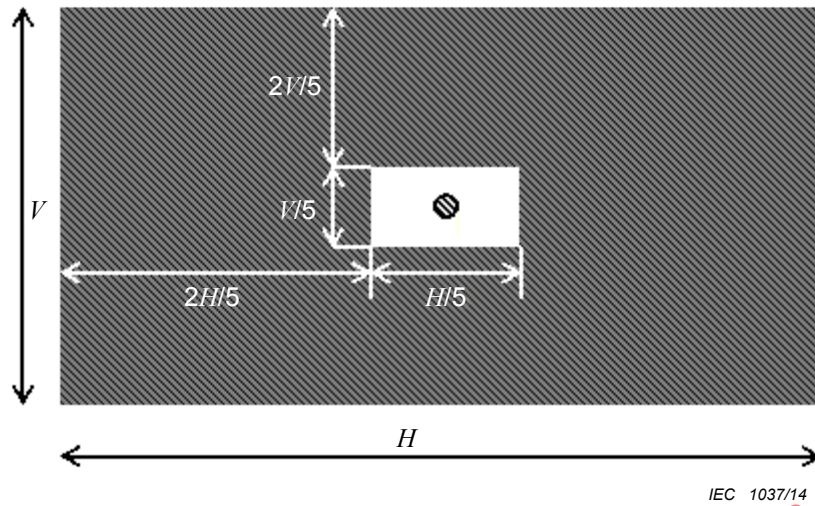


Figure 15 – Display pattern used to characterize ghosting.

5.11.4 Definitions and evaluations

The luminance $L_{\text{post}}[P_i]$ at all the positions, measured after the 4 % window pattern, is corrected for screen non-uniformity by the following scaling:

$$L'_{\text{post}}[P_i] = L_{\text{post}}[P_i] \frac{L_{\text{pre}}[P_0]}{L_{\text{pre}}[P_i]} \quad (59)$$

where $L_{\text{pre}}[P_0]$ is the luminance at position P_0 prior to the 4 % window pattern, and $L_{\text{pre}}[P_i]$ is the luminance at all the positions. The CIELAB lightness for each position after the 4 % window pattern is determined by normalizing to the luminance $L_{\text{post}}[P_i]$ at position P_0 and using the following relations:

$$L^*[P_i] = 116 \times f\left(\frac{L'_{\text{post}}[P_i]}{L_{\text{post}}[P_0]}\right) - 16 \quad (60)$$

where

$$f\left(\frac{L'_{\text{post}}[P_i]}{L_{\text{post}}[P_0]}\right) = \begin{cases} \left(\frac{L'_{\text{post}}[P_i]}{L_{\text{post}}[P_0]}\right)^{1/3} & \left(\frac{L'_{\text{post}}[P_i]}{L_{\text{post}}[P_0]}\right) > (6/29)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 \left(\frac{L'_{\text{post}}[P_i]}{L_{\text{post}}[P_0]}\right) + \frac{16}{116} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (61)$$

The ghosting index is then defined as the largest lightness difference between the centre position P_0 and the four outer positions P_i :

$$GI = \max \left\{ \sqrt{(L^*[P_i] - L^*[P_0])^2} \right\} \quad (62)$$

Annex A (informative)

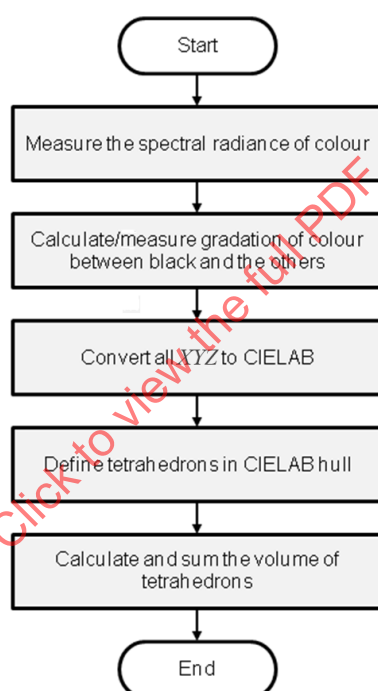
Calculation method of daylight colour gamut volume

A.1 Purpose

The purpose of this method is to describe a procedure to calculate the colour gamut volume of scattered colour points in the three-dimensional CIELAB colour space.

A.2 Procedure for calculating the colour gamut volume

The procedure to calculating the colour gamut volume is described by the flow chart in Figure A.1.



IEC 1038/14

Figure A.1 – Analysis flow chart for calculating the colour gamut volume

Measure at least the red, green, blue, cyan, magenta, yellow, black and white colours of the display under the defined daylight conditions. Table A.1 provides an example using sRGB primaries, using a CIE D65 white point and with the white luminance (Y) normalized to 100 %:

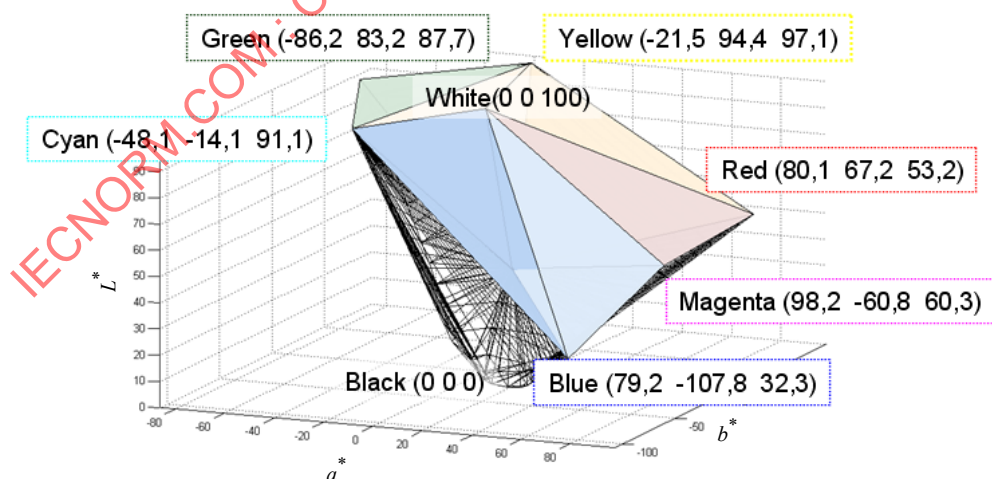
Table A.1 – Tristimulus values of the sRGB primary colours

Colour	x_Q	y_Q	$X_{Q,amb}$	$Y_{Q,amb}$	$Z_{Q,amb}$
Red	0,640	0,330	41,239	21,264	1,933
Green	0,300	0,600	35,758	71,517	11,919
Blue	0,150	0,060	18,048	7,219	95,053
Cyan	0,225	0,329	53,806	78,736	106,973
Magenta	0,321	0,154	59,287	28,483	96,986
Yellow	0,419	0,505	76,998	92,781	13,853
Black			0,000	0,000	0,000
White	0,3127	0,3290	95,046	100,000	108,906

Convert all colours points into the CIELAB colour space using Equations (30) to (33). See Table A.2 and Figure A.2 for an example of the sRGB colour set in the CIELAB colour space.

Table A.2 – Example of sRGB colour set represented in the CIELAB colour space

Colour	a^*	b^*	L^*
Red	80,105	67,223	53,233
Green	-86,188	83,186	87,737
Blue	79,194	-107,854	32,303
Cyan	-48,084	-14,128	91,117
Magenta	98,250	-60,833	60,320
Yellow	-21,561	94,488	97,138
Black	0	0	0
White	0	0	100



IEC 1039/14

Figure A.2 – Graphical representation of the colour gamut volume for sRGB in the CIELAB colour space

Compute the colour gamut volume by adding up all the tetrahedrons contained within the displayed colour points and report as a percentage of the volume compared with the sRGB colour gamut volume. An example of a display with the sRGB colour gamut volume calculated in the CIELAB colour space is provided in Table A.3.

Table A.3 – Example of sRGB colour gamut volume in the CIELAB colour space

Colour gamut volume	
Total	$8,20 \times 10^5$
Percent relative to sRGB	100 %

A.3 Surface subdivision method for CIELAB gamut volume calculation

A.3.1 Purpose

This algorithm accepts an arbitrary set of gamut corner cases specified in CIE 1931 XYZ tri-stimulus values. The minimum set of colours would be red, green, blue, cyan, magenta, yellow, black and white. The XYZ values are arranged in the rows of the input variable P , with a minimum of eight colour corner cases required. The output value is the calculated colour gamut volume.

A.3.2 Assumptions

It is assumed that the colour gamut in the CIE XYZ colour space will be defined as the convex hull of given corner cases. The colour gamut in the CIELAB colour space will be this convex hull, normalised in the CIE XYZ space by the corner case with the maximum luminance (taken as the white point), and translated into the CIELAB colour space where it will no longer be entirely convex.

A.3.3 Algorithm

- 1) Obtain the convex hull of the colour corner points in P . Store the tessellation of the surface of this hull in T . Initialise a total volume v to 0.

NOTE 1 In this case, the corner points are the standard RGBCMYKW colours.

- 2) Calculate the average of the points P to be used as a gamut mid-point and store in P_m .
- 3) For each triangular surface tile in T
 - i) Let s equal the number of edges that have extents in L^* , a^* , b^* coordinates greater than 10.
NOTE 2 Extents are used rather than length as they are faster to calculate.
 - ii) If $s = 0$ then calculate the volume defined between the vertices of the surface tile and P_m . Add this volume to v .
 - iii) If $s = 3$ then calculate the mid-points in the CIE XYZ space and subdivide the triangular tile into 4 sub-tiles defined by each corner vertex with the two nearest mid-points and the three mid-points. Repeat 3 for each triangular sub-tile.
 - iv) If $s = 1$ or 2 then calculate the mid-point in the CIE XYZ space of the edge with the largest extents in CIELAB and subdivide the triangular tile into 2 sub-tiles along the line between the mid-point and opposite vertex. Repeat 3 for each triangular sub-tile.
- 4) Return the total volume now contained in v .

A.3.4 Software example

An example software implementation of the colour gamut volume calculation is provided by MATLAB code. The code is executed by two main modules, outlined by the two boxes below. In order to execute the Matlab program, the following command is executed with the corresponding sRGB data loaded into memory:

```
>> P=GetGamutCorners('sRGB')
```

Default D65 white used

$P =$

0	0	0
0,412 4	0,212 6	0,019 3
0,770 0	0,927 8	0,138 5
0,357 6	0,715 2	0,119 2
0,538 1	0,787 4	1,069 7
0,180 5	0,072 2	0,950 5
0,592 9	0,284 8	0,969 9
0,950 5	1,000 0	1,089 1

where the data matrix corresponds to the following tristimulus coordinates as exemplified by the following:

X_K	Y_K	Z_K
X_R	Y_R	Z_R
X_Y	Y_Y	Z_Y
X_G	Y_G	Z_G
X_K	Y_K	Z_K
X_C	Y_C	Z_C
X_B	Y_B	Z_B
X_M	Y_M	Z_M
X_W	Y_W	Z_W

The CIE LAB colour gamut volume is then obtained by executing the following command:

```
>> CIELabVol_subd(P)
```

ans =

8,201 3 x 10⁵

```

CIELabVol_subd.m

function [v] = CIELabVol_subd(P)
%Each row of P contains XYZ tri-stimulus values of gamut corner points.
%The 3D gamut is defined as the convex hull of these points in XYZ space.
%The surface is recursively subdivided down to a threshold scale in CIELAB
%and the volume made by each surface tile to a central point is summed

thresh=10; %CIELab subdivision threshold

%Get the hull defined by the points
T=convhulln(P);

%Get the white point (taken as the primary with the maximum Y)
[W,i]=max(P(:,2));
W=P(i,:);

%Normalise the gamut to the white point
Pn=P./( repmat(W,size(P,1),1));

%get the mid-point
Pm=mean(Pn);

%add-on the CIELab points
Pn=[Pn, XYZ2Lab(Pn)];
Pm=[Pm, XYZ2Lab(Pm)];

%calculate and sum the Lab volume of each surface tile to the mid-point
v=0;
for n=1:size(T,1),
    v=v+SubDLabVol(Pn(T(n,:),:),Pm,thresh);
end

% % sub-functions
% XYZ2Lab converts XYZ values arranged in columns to L* a* b*
function [ t ] = XYZ2Lab(t)
i=(t>0.008856);
t(i)=t(i).^(1/3);
t(~i)=7.787*t(~i)+16/116;
t=[116*t(:,2)-16, 500*(t(:,1)-t(:,2)), 200*(t(:,2)-t(:,3))];
end

%Recursive function to divide up the surface tile then return the volume
function [ v ] = SubDLabVol(vp,c,th)
%Get the max extent of each edge (quicker than length calculation)
m=max(abs(vp-circshift(vp,1)),[],2);
%Count how many edges have extents larger than the threshold
s=sum(m>th);

if (s==0), %no edges larger: return the volume
    v=abs(det(vp(:,4:6) - repmat(c(1,4:6),3,1))/6);

elseif (s==3), %all edges larger: divide tile in four
    %get edge mid-points
    ip=(vp(:,1:3)+circshift(vp(:,1:3),1))/2;

    %calculate CIELab points of the mid-points
    ip=[ip,XYZ2Lab(ip)];

```

```

    %and call recursively for each sub-tile
    v=SubDLabVol([vp(1,:);ip(1:2,:)],c,th);
    v=v+SubDLabVol([vp(2,:);ip(2:3,:)],c,th);
    v=v+SubDLabVol([vp(3,:);ip(1:2:3,:)],c,th);
    v=v+SubDLabVol(ip,c,th);

    else %one or two edges larger: split the tile on the largest edge
    %shift the order so 1-2 has the largest extent
    [m,i]=max(m);
    vp=circshift(vp,2-i);

    %calculate the mid-point of 1-2 and the CIELab point
    ip=(vp(1,1:3)+vp(2,1:3))/2;
    ip=[ip,XYZ2Lab(ip)];

    %and call recursively for the two sub-tiles
    v=SubDLabVol([vp([1 3],:);ip],c,th);
    v=v+SubDLabVol([vp(2:3,:);ip],c,th);
    end
end
end
end

```

GetGamutCorners.m

```

function [ P ] = GetGamutCorners(P ,wh)
%GET PRIM returns a set of colour corner points based on a standard gamut
% input string must contain one of:
%   'sRGB', 'Rec709', 'EBU', 'NTSC'
%   optionally one of
%   'D50', 'D55', 'D65', 'D75', 'I11A', 'I11E'
if ischar(P)
    if nargin<2
        wh=P;
    end
    if strfind(P,'sRGB') || strfind(P,'Rec709')
        prim=[0.64,0.33;0.3,0.6;0.15,0.06];
    elseif strfind(P,'EBU')
        prim=[0.64,0.33;0.29,0.6;0.15,0.06];
    elseif strfind(P,'NTSC')
        prim=[0.67,0.33;0.21,0.71;0.14,0.08];
    else
        error('non-valid colour primary specification');
    end
    P=prim;
end
if ischar(wh)
    if strfind(wh,'D50')
        wh=[0.3457,0.3585];
    elseif strfind(wh,'D55')
        wh=[0.3324,0.3474];
    elseif strfind(wh,'D65')
        wh=[0.3127,0.3290];
    elseif strfind(wh,'D75')
        wh=[0.2990,0.3149];
    end
end

```

```
elseif strfind(wh,'I11A')
    wh=[0.44757,0.40745];
elseif strfind(wh,'I11E')
    wh=[0.3333,0.3333];
else
    wh=[0.3127,0.3290];
    display('Default D65 white used');
end
end
wh=[wh, 1-sum(wh)]/wh(2);
P=[P, 1-sum(P,2)];
P=P.*repmat((wh/P)',1,3);
%P=[KRYGCBMW]'
P=[0 0 0;P(1,:);sum(P(1:2,:));P(2,:);sum(P(2:3,:));...
    P(3,:);sum(P([1 3],:)); sum(P)];
end
```

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62679-3-1:2014

Bibliography

- [1] International Committee for Display Metrology, Information Display Measurements Standard, Ver. 1.03, (2012)
- [2] E. F. Kelley, M. Lindfors, and J. Penczek, Display daylight ambient contrast measurement methods and daylight readability, J. Soc. Information Display, V 14, p.1019-1030 (2006).
- [3] ANSI/IESNA RP-1-04, American National Standard Practice for Office Lighting, Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), (2004).
- [4] Using model in ASTM G197, "Standard Table for Reference Solar Spectral Distributions: Direct and Diffuse on 20° Tilted and Vertical Surfaces", (2008).
- [5] The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, 9th Ed. (2002).
- [6] CIE Publication No. 44, Absolute Methods for Reflection Measurement, Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination), 1979 reprinted 1990. For example of sampling sphere, see the Sharp-Little method.
- [7] E. F. Kelley, "Diffuse reflectance and ambient contrast measurements using a sampling sphere", Proc. Third Americas Display Engineering and Applications Conf. (ADEAC 2006), Soc. Information Display, Atlanta, GA, USA, pp. 1-5, Oct. 24-26, (2006).
- [8] B. P. Dehmlow and K. A. Brostad, "Reflection-mode diffraction and matrix displays", Proc. Of the SPIE, Vol. 3363 (Cockpit Displays V), pp. 217-224 (1998)
- [9] R. S. Berns, Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, 3rd Ed., Wiley-Interscience, New York (2000).
- [10] M. E. Becker: "Measuring LCD Optical Performance", SID 1996, San Diego, Application Seminar A-4
- [11] Véronique Collomb-Patton, Pierre Boher and Thierry Leroux: "Comprehensive Survey on Viewing Angle Measurement Devices: A Theoretical Study," SID 09 Digest 17.4, pp.220-223 (2009).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62679-3-1:2014

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	55
1 Domaine d'application	57
2 Références normatives	57
3 Termes, définitions et abréviations	57
3.1 Termes et définitions	57
3.2 Abréviations	58
4 Conditions de mesure normalisées	58
4.1 Conditions d'environnement normalisées de mesure	58
4.2 Système de coordonnées de direction de visualisation	58
4.3 Conditions d'éclairage normalisées	59
4.3.1 Remarques et commentaires généraux sur la mesure des afficheurs de papier électroniques	59
4.3.2 Conditions en chambre noire	59
4.3.3 Spectres d'éclairage ambiant normalisés	60
4.3.4 Géométries d'éclairage normalisées	61
4.4 Conditions normalisées des équipements de mesure	67
4.4.1 Généralités	67
4.4.2 Réglage de l'EPD	68
4.4.3 Conditions des équipements de mesure	68
4.4.4 Mesures de contact avec des instruments d'éclairage/de détection intégrés	70
4.5 Étalons de travail et références	70
4.5.1 Étalon du facteur de réflexion diffuse	70
4.5.2 Étalon du facteur de réflexion spéculaire	70
4.6 Emplacements normalisés du champ de mesure	71
4.6.1 Afficheurs matriciels	71
4.6.2 Afficheurs à segments	72
5 Méthodes de mesures optiques	72
5.1 Mesures de réflexion	72
5.1.1 Objet	72
5.1.2 Conditions de mesure	72
5.1.3 Mesure du facteur de réflexion spectrale diffuse hémisphérique	72
5.1.4 Mesure du facteur de réflexion pour une source de lumière dirigée	74
5.2 Uniformité dans le plan photométrique de l'afficheur	75
5.2.1 Objet	75
5.2.2 Équipement de mesure	75
5.2.3 Méthode de mesure	76
5.2.4 Définitions et évaluations	76
5.3 Rapport de contraste	77
5.3.1 Objet	77
5.3.2 Équipement de mesure	77
5.3.3 Méthode de mesure	77
5.3.4 Définitions et évaluations	77
5.4 Rapport de contraste ambiant	78
5.4.1 Objet	78

5.4.2	Conditions de mesure	78
5.4.3	Méthode de mesure	78
5.5	Diaphonie	78
5.5.1	Objet	78
5.5.2	Équipement de mesure	79
5.5.3	Afficheurs matriciels à échelle des gris	79
5.5.4	Afficheurs matriciels noir et blanc (deux niveaux)	81
5.6	Couleur d'affichage, gamme de couleurs et aire de gamme de couleurs	81
5.6.1	Objet	81
5.6.2	Équipement de mesure	81
5.6.3	Méthode de mesure	82
5.6.4	Définitions et évaluations	82
5.6.5	Gamme de couleurs d'affichage	83
5.6.6	Aire de gamme de couleurs d'affichage	84
5.7	Uniformité dans le plan colorimétrique de l'afficheur	86
5.7.1	Objet	86
5.7.2	Équipement de mesure	86
5.7.3	Méthode de mesure	86
5.7.4	Définitions et évaluations	87
5.8	Couleur d'affichage à la lumière du jour	88
5.8.1	Objet	88
5.8.2	Conditions de mesure	88
5.8.3	Méthode de mesure	88
5.9	Volume de gamme de couleurs de la lumière du jour	89
5.9.1	Objet	89
5.9.2	Conditions de mesure	89
5.9.3	Méthode de mesure	89
5.9.4	Rapport	91
5.10	Dépendance à la direction de visualisation	92
5.10.1	Objet	92
5.10.2	Conditions de mesure	92
5.10.3	Méthode de mesure	92
5.10.4	Définitions et évaluations	94
5.11	Effet fantôme	96
5.11.1	Objet	96
5.11.2	Équipement de mesure	96
5.11.3	Méthode de mesure	96
5.11.4	Définitions et évaluations	97
Annexe A (informative)	Méthode de calcul du volume de gamme de couleurs de la lumière du jour	98
A.1	Objet	98
A.2	Procédure de calcul du volume de gamme de couleurs	98
A.3	Méthode de subdivision surfacique pour le calcul du volume de gamme de couleurs CIELAB	100
A.3.1	Objet	100
A.3.2	Hypothèses	101
A.3.3	Algorithme	101
A.3.4	Exemple de logiciel	101
Bibliographie		106

Figure 1 – Représentation de la direction de visualisation, ou direction de mesure, définie par l'angle d'inclinaison et l'angle de rotation (azimut) dans un système de coordonnées polaires.....	59
Figure 2 – Exemples illustrés d'éclairage directionnel	62
Figure 3 – Exemple de montage de mesure utilisant un éclairage directionnel où $\theta_S = 40^\circ$ et $\theta_R = 30^\circ$	63
Figure 4 – Exemple de montage de mesure d'éclairage circulaire où $\theta_{S \pm \Delta} = 35^\circ \pm 5^\circ$ et $\theta_R = 20^\circ$	64
Figure 5 – Schéma détaillé des caractéristiques d'une lumière circulaire	65
Figure 6 – Exemple de géométries de mesure pour l'éclairage hémisphérique utilisant une sphère d'intégration (à gauche) et une sphère d'échantillonnage (à droite)	67
Figure 7 – Schéma de disposition du montage de mesure.....	69
Figure 8 – Positions de mesure normalisées	71
Figure 9 – Mire de fenêtre pour la mesure de la diaphonie.....	80
Figure 10 – Exemple de gamme de couleurs d'un afficheur.....	84
Figure 11 – Exemple de résultats d'évaluation pour l'aire de la gamme de couleurs sur le plan a^*b^* de l'espace chromatique CIELAB.....	86
Figure 12 – Exemple de gamme de couleurs produite par un afficheur donné tel que représenté par l'espace chromatique CIELAB	91
Figure 13 – Géométrie d'éclairage/de détection pour mesurer les propriétés de direction de visualisation de l'afficheur	93
Figure 14 – Exemple de dépendance du rapport de contraste à la direction de visualisation.....	95
Figure 15 – Mire d'écran utilisée pour caractériser l'effet fantôme	97
Figure A.1 – Organigramme d'analyse pour le calcul du volume de gamme de couleurs	98
Figure A.2 – Représentation graphique du volume de gamme de couleurs pour l'ensemble de couleurs sRGB dans l'espace chromatique CIELAB	100
Tableau 1 – Valeurs propres M_1 et M_2 pour les illuminants de lumière du jour D50 et D75 de la CIE	74
Tableau 2 – Signaux d'entrée pour des mesures d'aire de gamme de couleurs CIELAB et CIE UCS u^*v^*	85
Tableau 3 – Exemple de données de non-uniformité de couleur dans le plan	88
Tableau 4 – Exemple de couleurs minimales requises pour le calcul du volume de gamme (de couleurs) d'un afficheur 8 bits à 3 couleurs primaires	90
Tableau 5 – Mesure des composantes trichromatiques pour l'ensemble de couleurs minimal (voir Tableau 4) nécessaire au calcul du volume de gamme de couleurs dans les conditions d'éclairage lumière du jour spécifiées	92
Tableau 6 – Volume de gamme de couleurs dans l'espace chromatique CIELAB	92
Tableau 7 – Exemple de format utilisé pour consigner les performances de direction de visualisation.....	96
Tableau A.1 – Composantes trichromatiques des couleurs primaires sRGB	99
Tableau A.2 – Exemple d'ensemble de couleurs sRGB représenté dans l'espace chromatique CIELAB.....	99
Tableau A.3 – Exemple de volume de gamme de couleurs sRGB dans l'espace chromatique CIELAB.....	100

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AFFICHEURS DE PAPIER ÉLECTRONIQUES –

Partie 3-1: Méthodes de mesures optiques

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale 62679-3-1 a été établie par le comité d'études 110 de l'IEC: Dispositifs électroniques d'affichage.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
110/548/FDIS	110/561/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62679, publiées sous le titre général *Afficheur de papier électronique*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62679-3-1:2014

AFFICHEURS DE PAPIER ÉLECTRONIQUES –

Partie 3-1: Méthodes de mesures optiques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62679 spécifie les conditions de mesure et les méthodes de mesure normalisées pour déterminer les performances optiques d'afficheurs de papier électroniques (EPD: Electronic Paper Displays). Le domaine d'application du présent document est limité aux EPD utilisant des écrans soit à segments, soit à matrice passive ou active de type monochromatiques ou couleurs. Les méthodes de mesure sont destinées à des EPD fonctionnant en mode réflectif. Les EPD peuvent inclure une unité d'éclairage intégrée (ILU: integrated lighting unit), mais elle sera éteinte pour ces méthodes de mesure. Seuls les systèmes de couleurs primaires sont couverts par le présent document.

2 Références normatives

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

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible sur www.electropedia.org)

IEC 62679-1-1¹, *Electronic paper displays – Part 1-1: Terminology* (disponible en anglais seulement)

IEC 61966-2-1, *Mesure et gestion de la couleur dans les systèmes et appareils multimédia – Partie 2-1: Gestion de la couleur – Espace chromatique RVB par défaut – sRVB*

CIE 15, *Colorimetry* (disponible en anglais seulement)

CIE 38, *Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and their Measurement* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 62679-1-1 et l'IEC 60050, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1.1

rapport de contraste ambiant

rapport de contraste d'un afficheur avec incidence de l'éclairage directionnel et diffus hémisphérique sur sa surface utilisé pour simuler un environnement d'éclairage réel

¹ À paraître.

3.1.2

couleur d'affichage à la lumière du jour

couleur d'un afficheur avec incidence de l'éclairage directionnel et diffus hémisphérique sur sa surface pour une géométrie, des spectres et des niveaux d'éclairage définis qui simulent un environnement d'éclairage lumière du jour réaliste

3.1.3

volume de gamme de couleurs

nombre unique correspondant à la plus large gamme possible de couleurs d'affichage (y compris tous les mélanges possibles de couleurs primaires, de blanc et de noir) décrite comme un volume dans un espace chromatique tridimensionnel tel que CIELAB

3.1.4

volume de gamme de couleurs de la lumière du jour

volume de gamme de couleurs d'un afficheur avec incidence de l'éclairage directionnel et hémisphérique diffus sur sa surface pour une géométrie, des spectres et des niveaux d'éclairage définis qui simulent un environnement d'éclairage lumière du jour réaliste

3.2 Abréviations

CCT	température de couleur proximale (correlated colour temperature)
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIELAB	espace chromatique CIE 1976 ($L^*a^*b^*$)
DUT	dispositif en essai (device under test)
EPD	afficheur de papier électronique (electronic paper display)
ILU	unité d'éclairage intégrée (integrated lighting unit) (par exemple, une plaque de conduit de lumière avant éclairée par la tranche)
ISO	Organisation internationale de normalisation (International Organization for Standardization)
LED	diode électroluminescente (light emitting diode)
LMD	dispositif de mesure de la lumière (light measuring device)
RVB	rouge, vert, bleu
SDCM	écart quadratique de chromaticité (standard deviation of colour matching)
sRVB	espace chromatique RVB normalisé tel que défini dans l'IEC 61966-2-1

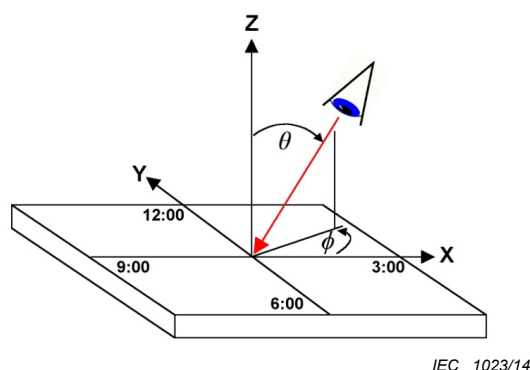
4 Conditions de mesure normalisées

4.1 Conditions d'environnement normalisées de mesure

Les mesures optiques et électro-optiques doivent être effectuées dans les conditions d'environnement normalisées, à une température de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, une humidité relative de 25 % à 85 % et une pression de 86 kPa à 106 kPa. Lorsque différentes conditions d'environnement sont utilisées, elles doivent être indiquées dans le rapport.

4.2 Système de coordonnées de direction de visualisation

La direction de visualisation est la direction selon laquelle l'observateur regarde le point d'intérêt sur le dispositif en essai (DUT). Pendant les mesures, le dispositif de mesure de la lumière (LMD) simule l'observateur, en visant le LMD au niveau du point d'intérêt sur le DUT depuis la direction de visualisation. La direction de visualisation est définie par deux angles: l'angle d'inclinaison θ (par rapport à la normale à la surface du DUT) et l'angle de rotation ϕ (également appelé azimut) comme illustré à la Figure 1. L'azimut est mesuré dans le sens antihoraire, mais il est lié aux directions suivantes sur les aiguilles d'une montre: $\phi = 0^\circ$ correspond à la direction 3 heures (droite), $\phi = 90^\circ$ à 12 heures (haut), $\phi = 180^\circ$ à 9 heures (gauche) et $\phi = 270^\circ$ à 6 heures (bas).



IEC 1023/14

Figure 1 – Représentation de la direction de visualisation, ou direction de mesure, définie par l'angle d'inclinaison et l'angle de rotation (azimut) dans un système de coordonnées polaires

4.3 Conditions d'éclairage normalisées

4.3.1 Remarques et commentaires généraux sur la mesure des afficheurs de papier électroniques

Ce document traite des afficheurs de papier électroniques (EPD) comme des afficheurs réfléchissants. Un afficheur d'informations réfléchissant est un afficheur qui module la lumière réfléchi de telle sorte que les informations soient transportées par la lumière réfléchi. Les afficheurs réfléchissants n'émettent pas de lumière de telle sorte que la lumière ambiante soit nécessaire pour visualiser ces informations. Il est donc critique que les spécifications de mesure d'afficheurs réfléchissants incluent les conditions d'éclairage pendant les mesures. L'éclairage de mesure est constitué d'une ou plusieurs sources de lumière, dont la répartition spectrale et la géométrie d'éclairage de chacune sont à spécifier. Ainsi, les mesures de performance d'affichage doivent être effectuées dans des conditions d'éclairage et de détection spécifiques et bien définies afin d'être reproductibles.

Des ILU sont intégrées dans un EPD pour fournir un éclairage supplémentaire pour compenser le manque d'éclairage ambiant approprié. Les méthodes de mesure présentées dans ce document sont réalisées avec l'ILU arrêtée.

Le paragraphe 4.3 décrit un choix de conditions d'éclairage normalisées pour mesurer les performances de l'EPD. L'EPD peut également être mesuré sous d'autres géométries d'éclairage et de détection en plus des géométries normalisées.

Un temps de préchauffage peut être nécessaire. Le signal de la source de lumière doit rester stable à $\pm 5\%$ pendant toute la période de mesure.

4.3.2 Conditions en chambre noire

L'EPD est destiné à être mesuré dans des conditions d'éclairage contrôlées. L'éclairage de fond indésirable doit être réduit au minimum, généralement en éclairant l'afficheur dans une chambre noire. La contribution de l'éclairage de fond sur la densité spectrale de luminance énergétique d'une chambre noire, c'est-à-dire la densité spectrale de luminance énergétique mesurée réfléchi par le DUT, ne doit pas dépasser $1/100^{\text{ème}}$ de la densité spectrale de luminance énergétique provenant de l'état noir du dispositif avec la source d'éclairage allumée. Si cette condition n'est pas satisfaite, alors il est nécessaire de soustraire l'éclairage de fond et le rapport doit l'indiquer. En outre, si la sensibilité du LMD ne permet pas de mesurer ces niveaux bas, alors la limite inférieure du LMD doit être notée dans le rapport.

Sauf indication contraire, les conditions d'éclairage de fond normalisées doivent être les conditions de chambre noire.

4.3.3 Spectres d'éclairage ambiant normalisés

Les conditions d'éclairage suivantes sont spécifiées pour effectuer des mesures optiques et électro-optiques d'afficheurs réfléchissants sous un éclairage ambiant. L'éclairage ambiant doit simuler des conditions d'éclairage intérieur ou extérieur. Une combinaison de deux géométries d'éclairage est généralement utilisée pour simuler soit un éclairage intérieur ambiant, soit un éclairage lumière du jour extérieur sous un ciel dégagé.[1,2]² Un éclairage hémisphérique diffus uniforme est utilisé pour simuler l'éclairage de fond d'une salle avec une source de lumière dirigée telle qu'un luminaire masqué placé dans une salle, ou la lumière du ciel hémisphérique incidente sur l'afficheur, en masquant les rayons du soleil. Une source de lumière dirigée placée dans une chambre noire simule l'effet de l'éclairage directionnel sur un afficheur provenant d'un luminaire présent dans la salle, ou d'un ensoleillement direct.

Les conditions d'éclairage suivantes doivent permettre de simuler des environnements de visualisation intérieure et extérieure d'un afficheur:

- Conditions d'éclairage ambiant intérieur:

Éclairage diffus hémisphérique uniforme – Utiliser une source de lumière très proche de l'illuminant normalisé A de la CIE, de l'illuminant normalisé D65 de la CIE ou de l'illuminant normalisé D50 de la CIE, comme défini dans la CIE 15. Pour des mesures spectrales, une source de lumière à bande large et de spectre lisse (par exemple, une approximation de l'illuminant normalisé A de la CIE) doit être utilisée. Une mesure du facteur de réflexion spectrale utilisant une source de lumière large (telle que l'illuminant A) permet de calculer ultérieurement les valeurs de couleur et les valeurs photopiques ambiantes intérieures pour les spectres de référence souhaités (par exemple, l'illuminant D65 de la CIE). Les valeurs de performance doivent être calculées en utilisant 300 lx pour un environnement de lecture intérieur.[3] La mesure du facteur de réflexion hémisphérique diffuse réel peut nécessiter des niveaux d'éclairage plus élevés pour une meilleure précision de mesure. L'échelle des résultats est alors réduite aux niveaux d'éclairage exigés.

Éclairage directionnel – Les mêmes spectres de source que dans le cas de l'éclairage hémisphérique diffus doivent être utilisés. Les valeurs des couleurs et les valeurs photopiques ambiantes intérieures doivent être calculées en utilisant un éclairage directionnel de 200 lx incident sur la surface de l'afficheur pour un environnement de lecture intérieur avec l'afficheur orienté verticalement. La mesure du facteur de réflexion réel peut nécessiter des niveaux d'éclairage plus élevés pour une meilleure précision de mesure. L'échelle des résultats est alors réduite aux niveaux d'éclairage exigés. La source dirigée doit être située à un angle de 45° au-dessus du plan normal à la surface ($\theta_s = 45^\circ$) et avec un angle sous-tendu de 5 au maximum. L'angle sous-tendu est défini comme la portée angulaire maximale de la source de lumière par rapport au centre de la surface de mesure de l'afficheur.

D'autres niveaux d'éclairage peuvent être utilisés en plus de ceux définis ci-dessus pour calculer le rapport de contraste ambiant dans des conditions d'éclairage intérieur. Il convient cependant que 60 % environ de l'éclairement total soient à diffusion hémisphérique et que 40 % de l'éclairage soient directionnels.

- Conditions d'éclairage lumière du jour:

Éclairage diffus hémisphérique uniforme – Utiliser une source de lumière très proche de la lumière du ciel, avec la répartition spectrale de l'illuminant D75 de la CIE.[4] D'autres illuminants de lumière du jour de la CIE (tels que D65) peuvent également être utilisés, en fonction de l'application prévue. Pour des mesures spectrales, les mesures du facteur de réflexion spectrale peuvent être réalisées en utilisant une source de lumière à bande large et de spectre lisse (par exemple, une approximation de l'illuminant normalisé A de la CIE). Des valeurs des couleurs et des valeurs photopiques de la lumière du ciel peuvent être calculées ultérieurement pour les spectres de l'illuminant D75 de la CIE. Les valeurs des

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

couleurs et les valeurs photopiques de la lumière du ciel doivent être calculées en utilisant un éclairage hémisphérique diffus de 15 000 lx (spéculaire inclus) incident sur une surface de l'afficheur selon une orientation verticale.[4,5] La mesure du facteur de réflexion hémisphérique diffuse réel peut être effectuée à des niveaux d'éclairage inférieurs. L'échelle des résultats est alors augmentée aux niveaux d'éclairage exigés.

Éclairage directionnel – La source de lumière directionnelle doit s'approcher de l'illuminant de lumière du jour D50 de la CIE.[4] D'autres illuminants de lumière du jour de la CIE (tels que D65) peuvent également être utilisés, en fonction de l'application prévue. Une source de lumière à bande large et de spectre lisse (par exemple, une approximation de l'illuminant normalisé A de la CIE) peut être utilisée pour mesurer le facteur de réflexion. Les valeurs des couleurs et des valeurs photopiques de l'ensoleillement peuvent être calculées ultérieurement pour les spectres de l'illuminant D50. La couleur ou le rapport de contraste de lumière du jour doit être calculé en utilisant 65 000 lx pour une source dirigée à un angle d'inclinaison de $\theta_s = 45$ vers la surface de l'afficheur, et le LMD doit être aligné en formant un angle normal avec la surface de l'afficheur ($\theta_d = 0$). [4,5] La mesure du facteur de réflexion réel peut être effectuée à des niveaux d'éclairage inférieurs. L'échelle des résultats est alors augmentée aux niveaux d'éclairage exigés. La couleur et le rapport de contraste sont calculés pour les niveaux d'éclairement mis à l'échelle. La source dirigée doit présenter un angle sous-tendu d'environ 0,5°.

Pour les calculs des valeurs des couleurs et des valeurs photopiques de lumière du jour à partir des mesures du facteur de réflexion spectrale, les répartitions spectrales relatives des illuminants A, D50, D65 et D75 de la CIE (présentés dans un tableau de la CIE 15) doivent être utilisées. D'autres illuminants de lumière du jour de la CIE doivent être déterminés en utilisant des fonctions propres appropriées, telles que définies dans la CIE 15.

La région des UV (< 380 nm) de la source de lumière doit être éteinte à l'aide d'un filtre de blocage des UV. Lorsque des niveaux élevés d'éclairage de la source de lumière sont utilisés, il est recommandé d'utiliser un filtre d'arrêt à infrarouge afin de réduire au minimum l'échauffement du dispositif.

4.3.4 Géométries d'éclairage normalisées

4.3.4.1 Généralités

Trois types de géométries d'éclairage doivent être utilisés pour déterminer les performances de l'EPD. Des configurations normalisées pour mettre en œuvre ces géométries d'éclairage sont définies en 4.3.4. Des géométries d'éclairage supplémentaires peuvent également être utilisées. Les détails sur la géométrie d'éclairage utilisée pour une mesure donnée doivent être consignés. D'autres lignes directrices de mise en œuvre appropriée de ces géométries d'éclairage sont données dans la norme sur les mesures d'afficheurs SID. [1]

4.3.4.2 Éclairage directionnel

L'éclairage directionnel est obtenu lorsqu'une source de lumière produit des rayons approximativement parallèles incidents sur le DUT. L'écart maximal des rayons par rapport à l'axe optique dépend du diamètre de la source et du point de mesure. L'angle maximal de l'écart par rapport à l'axe optique est donné par:

$$\arctan ([r_{ms} + r_s] / |d|) < 5^\circ \quad (1)$$

où r_s est le rayon de la source, d est la distance jusqu'au point de mesure, et r_{ms} est le rayon du point de mesure. L'éclairage sur la section transversale du faisceau doit être uniforme avec une précision de 5 %. Une source de lumière suffisamment éloignée du DUT peut fournir l'éclairage directionnel (par exemple, la lumière du soleil et de la lune). En simulant un éclairage ambiant directionnel extérieur tel que le soleil et la lune, il convient que l'angle sous-tendu de la source (observé par le DUT) soit $\leq 0,5^\circ$.

Un éclairage directionnel peut être réalisé avec trois types de sources différents quand les dimensions des sources sont assez petites par rapport à la distance entre la source et le point de mesure sur l'échantillon. Ces géométries sont indiquées sur la Figure 2:

- une source de Lambertienne plane, par exemple, l'orifice de sortie d'une sphère d'intégration (schéma du haut),
- une source isotrope sphérique (par exemple, une ampoule à incandescence à l'intérieur d'un verre sphérique de diffusion) (schéma du milieu),
- un système de projection avec des lentilles ou des miroirs (schéma du bas).

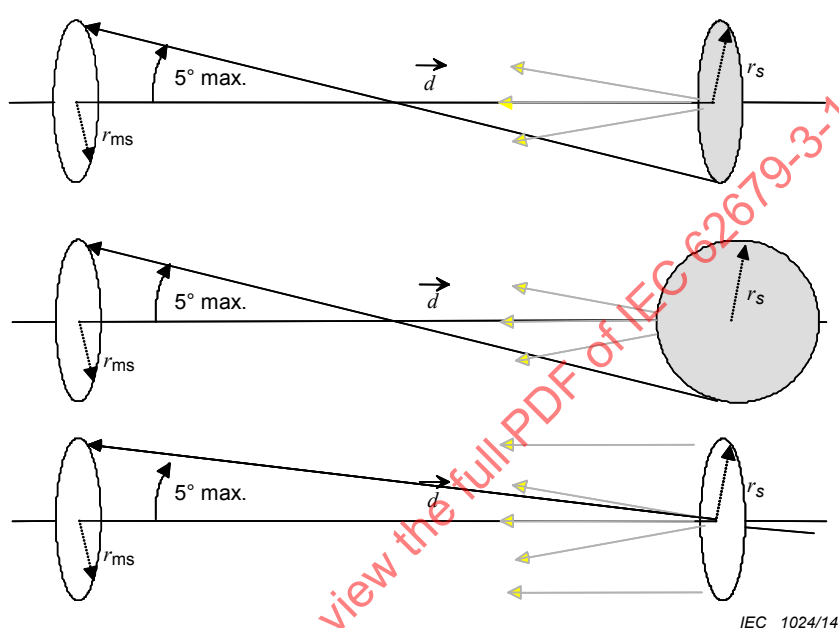
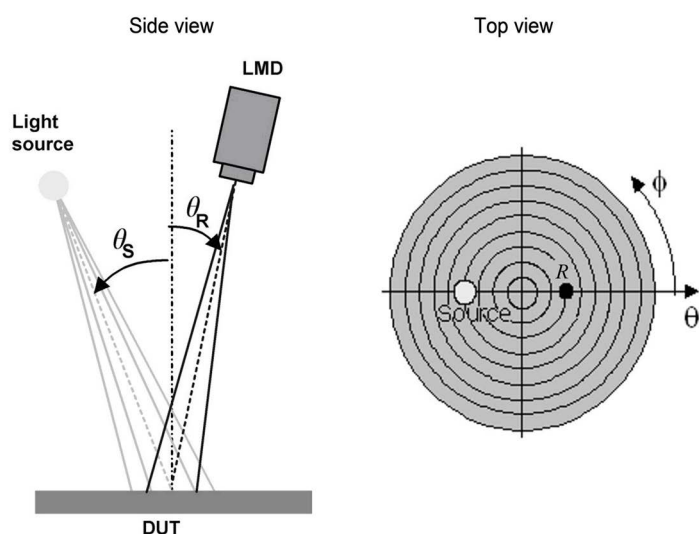


Figure 2 – Exemples illustrés d'éclairage directionnel

Un éclairage directionnel est mis en œuvre en utilisant une source de lumière de petit diamètre (par rapport à la distance jusqu'au point de mesure) alignée pour former un angle d'inclinaison θ_S par rapport à la normale à la surface du DUT. Cette source de lumière dirigée produit un point d'éclairage sur le DUT. Le LMD est placé selon un angle d'inclinaison θ_R dans le plan de la lumière incidente, et son champ de mesure est centré à l'intérieur du point d'éclairage. La source de lumière et le LMD peuvent être ajustés sur une gamme d'angles d'inclinaison, mais le LMD doit rester dans le plan d'incidence (c'est-à-dire $\phi_S = \phi_R + 180^\circ$). Cette configuration est représentée à la Figure 3 (à gauche) avec sa représentation dans un système de coordonnées polaire (à droite). Le champ de mesure sur le DUT est défini par l'élément de surface du DUT dont l'image est formée sur le détecteur dans le LMD.



IEC 1025/14

Légende

Anglais	Français
Side view	Vue de côté
Top view	Vue de dessus
Light source	Source de lumière
LMD	Dispositif de mesure de la lumière
DUT	Dispositif en essai
Source	Source

Figure 3 – Exemple de montage de mesure utilisant un éclairage directionnel où $\theta_S = 40^\circ$ et $\theta_R = 30^\circ$

Les conditions normalisées sont $\theta_S = 45^\circ$ et $\theta_R = 0^\circ$. Une précision d'alignement de $\pm 0,4^\circ$ est recommandée pour avoir une erreur de mesure de $\pm 5\%$.

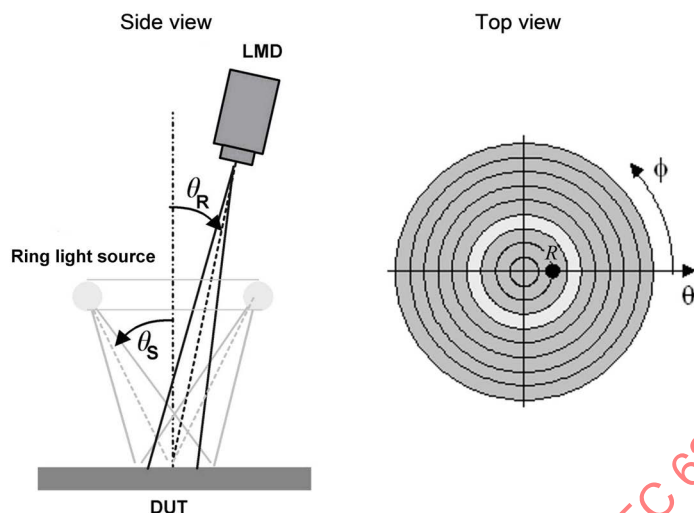
4.3.4.3 Éclairage circulaire

Un éclairage circulaire peut être considéré comme un cas spécial d'éclairage directionnel. Il fournit un éclairage directionnel avec une symétrie de rotation autour de la surface de l'afficheur normale et centrée sur le point de mesure. Un éclairage circulaire peut être réalisé des manières suivantes:

- une lumière circulaire par fibre optique,
- une sphère d'intégration avec une ouverture de forme circulaire (annulaire),
- des systèmes optiques avec des lentilles et des miroirs, par exemple, un miroir circulaire concave.

Une source de lumière de forme circulaire centrée autour de la surface normale du DUT éclaire le DUT selon un angle d'inclinaison $\theta_S \pm \Delta$ pour tous les angles azimutaux $\phi_S = 0^\circ$ à 360° . Le LMD est aligné pour former un angle $\theta_R < \theta_S - \Delta$ par rapport à la normale à la surface du DUT. La Figure 4 représente une vue de côté du montage de mesure (à gauche) et sa représentation dans un système de coordonnées polaire (à droite). Une illustration plus détaillée des caractéristiques de lumière circulaire est donnée à la Figure 5. L'angle sous-tendu de la lumière circulaire (2Δ dans ce cas) doit être spécifié. La source et le détecteur doivent être alignés sur la géométrie définie à $\pm 3^\circ$. L'éclairage du point de mesure sur le DUT doit être uniforme avec une précision de 5% . Ce montage est utilisé avec la source de lumière fixe, et le LMD peut être ajusté dans les limites de l'ouverture de la lumière circulaire.

Les conditions normalisées sont $\theta_R = 0^\circ$ et un angle d'inclinaison de la source de $\theta_S \pm \Delta = 45^\circ \pm 3^\circ$.



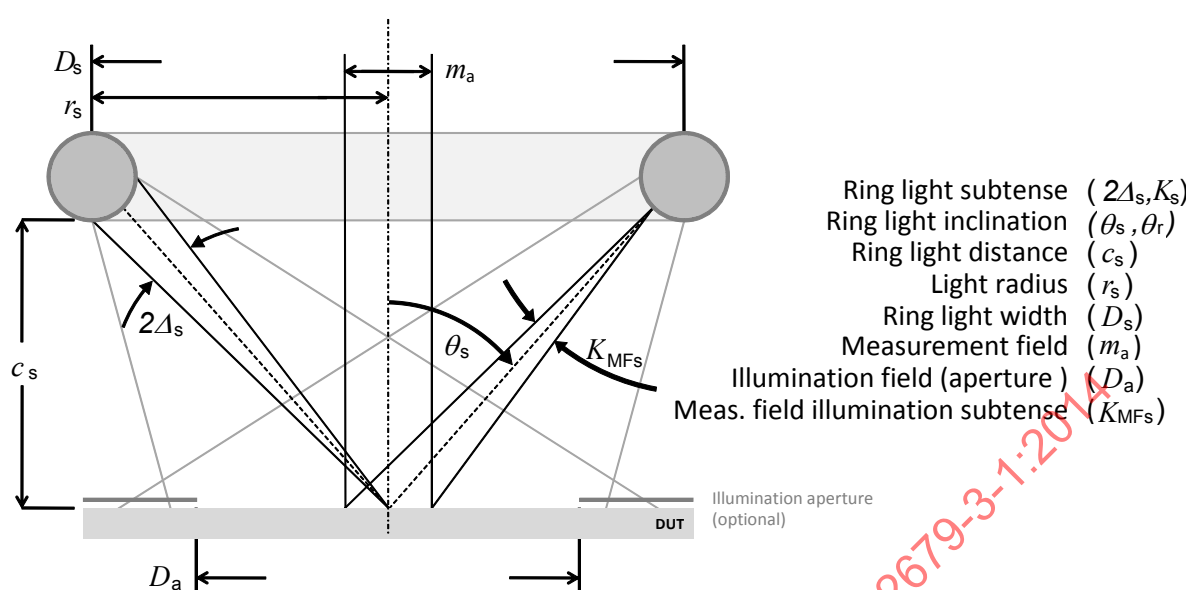
IEC 1026/14

Légende

Anglais	Français
Side view	Vue de côté
Top view	Vue de dessus
Ring light source	Source de lumière circulaire
LMD	Dispositif de mesure de la lumière
DUT	Dispositif en essai

Figure 4 – Exemple de montage de mesure d'éclairage circulaire
où $\theta_S \pm \Delta = 35^\circ \pm 5^\circ$ et $\theta_R = 20^\circ$

Il est recommandé que la précision d'alignement de la lumière circulaire et du LMD soit de $\pm 0,7^\circ$ pour garder l'erreur de mesure à $\pm 5\%$. En simulant un éclairage ambiant directionnel extérieur utilisant la lumière circulaire, il convient que l'angle sous-tendu 2Δ de la source (observé par le DUT) soit $\leq 0,5^\circ$. Une lumière circulaire par fibre optique est recommandée dans ce cas.



IEC 1027/14

Légende

Anglais	Français
Ring light subtense	Angle sous-tendu de la lumière circulaire
Ring light inclination	Inclinaison de l'éclairage circulaire
Ring light distance	Distance de la lumière circulaire
Light radius	Rayon de la lumière
Ring light width	Largeur de la lumière circulaire
Measurement field	Champ de mesure
Illumination field (aperture)	Champ d'éclairage (ouverture)
Meas. field illumination subtense	Mes. de l'angle sous-tendu de champ d'éclairage
Illumination aperture (optional)	Ouverture d'éclairage (facultatif)

Figure 5 – Schéma détaillé des caractéristiques d'une lumière circulaire

L'angle maximal de l'écart par rapport à l'axe optique est donné par:

$$\arctan\left(\frac{c_s}{r_s}\right) - \arctan\left(\frac{c_s}{r_s - \frac{m_a}{2}}\right) < 5^\circ \quad (2)$$

Ainsi, il convient que le diamètre de la lumière circulaire (D_s) soit au moins six fois plus large que le diamètre du champ de mesure (m_a).

Il convient que le diamètre de la surface éclairée (D_a) soit au moins 1,5 fois plus large que le diamètre du champ de mesure (m_a).

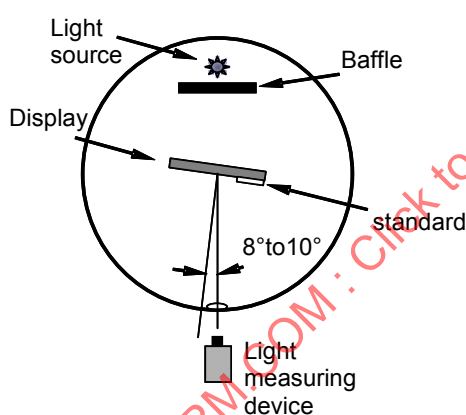
Si l'affichage est constitué de couches épaisses au-dessus de la surface réfléchissante, il convient de mesurer la distance de la lumière circulaire (c_s) de la couche visible la plus éloignée dans l'afficheur, et non la surface avant de l'afficheur.

Si la lumière réfléchi par l'afficheur présente une diffusion asymétrique (par exemple, une diffusion matricielle), alors il convient d'utiliser la source de lumière circulaire pour les mesures d'éclairage directionnel.[8] Si une source directionnelle est utilisée avec une diffusion asymétrique, les résultats peuvent ne pas être reproductibles.

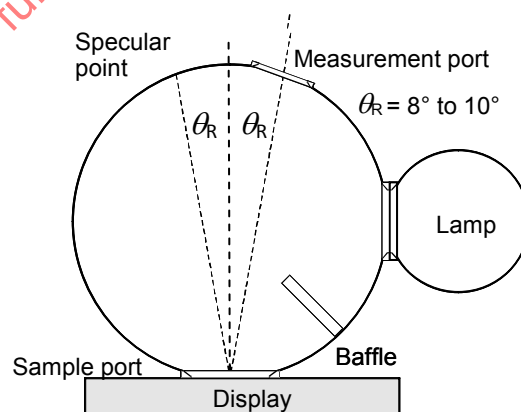
4.3.4.4 Éclairage hémisphérique

L'éclairage hémisphérique est une lumière omnidirectionnelle incidente uniformément sur une surface d'afficheur. Elle peut être utilisée pour simuler un éclairage de fond diffus intérieur ambiant ou un éclairage diffus extérieur de lumière du ciel (la lumière directe du soleil étant bloquée). Dans le cas d'une lumière hémisphérique réelle, les rayons de lumière incidents de luminance constante sont répartis uniformément sur tous les angles d'inclinaison au niveau du point de mesure. Deux exemples possibles de géométrie de mesure sont représentés à la Figure 6. Une bonne approximation d'un éclairage hémisphérique idéal (c'est-à-dire luminance constante provenant de toutes les directions jusqu'à une inclinaison de 90°) peut uniquement être fournie en intégrant des sphères dont le diamètre de l'orifice de mesure (Figure 6, configuration A) ou de l'orifice de l'échantillon (configuration B) est petit par rapport au diamètre de la sphère. Si une sphère d'intégration qui est au moins sept fois la diagonale physique externe de l'afficheur est disponible, l'afficheur peut être monté au centre de la sphère (Figure 6, configuration A). Pour de grands afficheurs, une sphère d'échantillonnage (Figure 6, configuration B) ou un hémisphère est plus approprié (voir CIE 38). Dans tous les cas, la configuration doit respecter la géométrie d'éclairage/de détection $d_i:8^\circ$ à $d_i:10^\circ$ normalisée, où d_i est la notation normalisée du qualificatif 'diffus'. La procédure suivante doit être utilisée pour réaliser des mesures d'éclairage hémisphérique:

- L'afficheur est placé au centre d'une sphère d'intégration/d'un hémisphère, ou contre l'orifice pour échantillons d'une sphère d'échantillonnage.
- Établir l'éclairage nécessaire au niveau du point de mesure. La température de couleur et les spectres d'éclairage peuvent être mesurés à partir de la lumière réfléchie d'un étalon du facteur de réflexion diffuse blanc à proximité de la surface de mesure de l'afficheur (Figure 6, configuration A), ou de la paroi de la sphère d'échantillonnage adjacente à l'orifice pour échantillons (Figure 6, configuration B). Le type de source de lumière utilisée, et sa CCT, doivent être indiqués dans le rapport d'essai.



Configuration A (top view)



Configuration B (side view)

IEC 1028/14

Légende

Anglais	Français
Light source	Source de lumière
Display	Afficheur
Baffle	Déflecteur
Reflectance standard	Étalon de facteur de réflexion
Light measuring device	Dispositif de mesure de lumière
Configuration A (top view)	Configuration A (vue de dessus)
Specular point	Point spéculaire
Measurement port	Orifice de mesure
Lamp	Lampe

Anglais	Français
Sample port	Orifice pour échantillons
Configuration B (side view)	Configuration B (vue de côté)

Figure 6 – Exemple de géométries de mesure pour l'éclairage hémisphérique utilisant une sphère d'intégration (à gauche) et une sphère d'échantillonnage (à droite)

- c) Le LMD est aligné pour observer le centre de l'afficheur par un orifice de mesure pratiqué dans la paroi de la sphère à un angle de $8^\circ \left({}^{+2}_{-0} \right)^\circ$ par rapport au plan normal à la surface de l'afficheur. L'angle d'inclinaison requis du dispositif de mesure de la lumière peut également être obtenu par inclinaison de l'afficheur à l'intérieur de la sphère d'intégration. Le LMD est fixé sur la surface d'affichage.
- d) Le diamètre de l'orifice de mesure doit être de 20 % à 30 % plus large que l'ouverture utile de la lentille du LMD. Il est nécessaire de veiller à éviter toute lumière directe des sources utilisées ou toute réflexion de luminosité provenant de toute surface (autre que l'écran proprement dit), risquant d'atteindre la lentille du LMD, afin de réduire au minimum la contamination par voile d'éblouissement de la mesure de la luminance réfléchie. Le LMD doit être retiré de l'orifice de mesure de manière à lui masquer les parois claires de la sphère. De plus, il est généralement nécessaire que le diamètre de l'orifice pour échantillons soit supérieur à 25 mm afin que le champ du LMD se situe entièrement dans l'orifice pour échantillons.
- e) La position de l'orifice de mesure doit être oblique par rapport à la lentille. Le petit diamètre du biseau réalisé est orienté vers le LMD, le grand diamètre étant dirigé vers l'intérieur de la sphère.
- f) L'éclairement énergétique ou l'éclairement spectral sur l'afficheur peut être mesuré au moyen d'un étalon du facteur de réflexion diffuse blanc, avec le facteur de réflexion spectrale diffuse hémisphérique connu $R(\lambda)$, ou le facteur de réflexion diffuse hémisphérique à pondération photopique (ou lumineuse) R . L'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc doit être étalonné sous un éclairage diffus hémisphérique uniforme dans une sphère d'intégration. En cas d'utilisation d'une sphère d'intégration (configuration A) ou d'un hémisphère, l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc doit être placé sur la surface d'affichage. Si t est l'épaisseur de l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc, ce dernier doit alors être placé sur la surface, à une distance de $5 \times t$ à $7 \times t$ par rapport à la surface de mesure. L'étalon du facteur de réflexion blanc peut également être placé de manière adjacente et dans le même plan que l'afficheur si l'éclairage de la sphère est uniforme sur cette distance. Dans le cas de la sphère d'échantillonnage, il est possible de déterminer l'éclairement énergétique spectral par mesure de la paroi de la sphère intérieure adjacente à l'orifice pour échantillons.[6] Le facteur de réflexion spectrale diffuse hémisphérique, ou le facteur de réflexion diffuse hémisphérique lumineuse, de la paroi de la sphère intérieure peut être déterminé en comparant la radiance spectrale (ou la luminance) de la paroi avec celle d'un étalon du facteur de réflexion diffuse blanc étalonné placé sur l'orifice pour échantillons (c'est-à-dire $R_{\text{wall}} = R_{\text{std}} \times (L_{\text{wall}}/L_{\text{std}})$).
- g) Lorsqu'une sphère d'échantillonnage est utilisée, la surface de mesure de l'afficheur doit contenir plus de 500 pixels d'affichage. Il est recommandé que la sphère d'échantillonnage soit au moins six fois supérieure au diamètre de l'orifice pour échantillons. Il peut se révéler nécessaire d'augmenter la dimension de l'orifice pour échantillons si la distance entre la surface d'émission de l'afficheur et l'entrée de l'orifice pour échantillons est importante.[7]

Les conditions normalisées sont $\theta_R = 8^\circ$ et un angle sous-tendu de $2 \times \theta_{S-\text{max}} \geq 170^\circ$. L'éclairage du point de mesure sur le DUT doit être uniforme avec une précision de 5 %.

4.4 Conditions normalisées des équipements de mesure

4.4.1 Généralités

Les conditions normalisées des équipements sont données ci-dessous. Tout écart par rapport à ces conditions doit être indiqué dans le rapport.

Les mesures doivent commencer une fois que l'EPD, la source d'éclairage et les instruments de mesure sont stabilisés.

4.4.2 Réglage de l'EPD

L'EPD doit être réglé aux valeurs nominales de conception du produit, qui doivent être consignées en détail dans le rapport. Lorsqu'aucun niveau n'est spécifié, le niveau maximal de contraste doit être utilisé et les réglages consignés dans le rapport. Sauf indication contraire, ces réglages doivent être maintenus constants pour toutes les mesures.

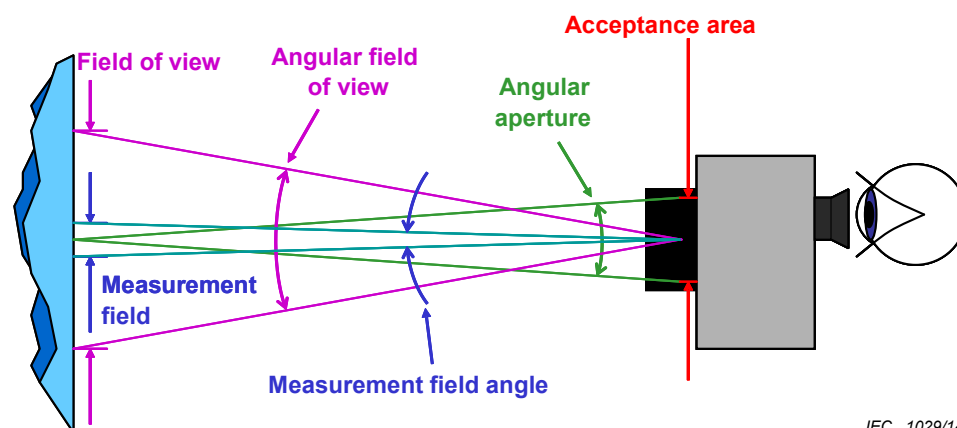
4.4.3 Conditions des équipements de mesure

La lumière réfléchie par l'EPD est généralement mesurée en unités photométriques ou colorimétriques: en luminance pour un photomètre ou en composantes trichromatiques (X , Y , Z) CIE 1931 pour un colorimètre. Un spectroradiomètre peut également obtenir des valeurs photométriques et colorimétriques par conversion numérique des données de radiance spectrale mesurées (voir par exemple [9]). Il s'agit généralement d'instruments sans contact et sans source d'éclairage. Les exigences suivantes sont données pour ces instruments:

- a) Le montage de l'équipement de mesure normalisé est illustré à la Figure 7. Le LMD doit être un luminancemètre, un colorimètre ou un spectroradiomètre. Le spectroradiomètre doit être capable de mesurer la radiance spectrale sur au moins la plage de longueurs d'onde comprise entre 380 nm et 780 nm, avec une largeur de bande maximale de 10 nm pour les spectres lisses à large bande. Pour les sources de lumière dont les caractéristiques spectrales sont prononcées, telles que des LED et des lampes fluorescentes, la largeur de bande maximale doit être ≤ 5 nm. La largeur de bande spectrale du spectroradiomètre doit être un entier multiple de l'intervalle d'échantillonnage. Par exemple, un intervalle d'échantillonnage de 5 nm peut être utilisé pour une largeur de bande comprise entre 5 nm et 10 nm.

On doit veiller à s'assurer que la sensibilité et la gamme dynamique du LMD lui permettent de réaliser la tâche requise. Le signal mesuré du LMD doit être au moins dix fois supérieur au niveau obscur (plancher de bruit) du LMD, et au maximum 85 % du niveau de saturation.

- b) Sauf indication contraire, le LMD doit être fixé sur le plan image de l'afficheur et aligné perpendiculairement à sa surface.
- c) L'incertitude relative et la répétabilité relative de tous les dispositifs de mesure doivent être maintenues en suivant le programme d'étalonnage recommandé du fournisseur d'instruments de mesure.



Légende

Anglais	Français
Field of view	Champ de vision
Measurement field	Champ de mesure
Angular field of view	Champ de vision angulaire
Measurement-field angle	Angle du champ de mesure
Angular aperture	Ouverture angulaire
Acceptance area	Zone de réception

Figure 7 – Schéma de disposition du montage de mesure

- d) Le temps d'intégration du LMD doit être un nombre entier de périodes de trames, synchronisées avec le taux de trame, ou doit être supérieur à deux cents périodes de trames.
- e) Lors de la mesure des affichages à matrice, les LMD doivent être réglés sur un champ de mesure incluant plus de 500 pixels. Si des zones de mesure plus petites se révèlent nécessaires, l'équivalence avec les 500 pixels doit être confirmée.
- f) La distance de mesure recommandée est comprise entre 20 cm et 50 cm. La distance de mesure doit être indiquée dans le rapport.
- g) L'ouverture angulaire doit être inférieure ou égale à 5°, et l'angle de champ de mesure doit être inférieur ou égal à 2° (Figure 7). La distance de mesure et l'angle d'ouverture peuvent être ajustés pour obtenir un champ de mesure supérieur à 500 pixels si le réglage de l'angle d'ouverture indiqué ci-dessus est difficile.
- h) Le champ de mesure du LMD doit être centré à l'intérieur du point de mesure éclairé sur le DUT.
- i) L'afficheur doit fonctionner à la fréquence de champ pour laquelle il a été conçu. Lorsque l'on utilise un équipement de signaux de commande séparé pour faire fonctionner un panneau, les conditions de commande doivent être indiquées dans le rapport.

En plus des LMD qui forment une valeur moyenne pour la grandeur mesurée sur le point considéré (c'est-à-dire le point ou le champ de mesure, des photomètres à points), il y a la classe des LMD de formation d'image qui donnent une valeur (ou une matrice de valeurs, par exemple R, V et B) pour chaque élément de zone sur le DUT. De tels LMD peuvent remplacer un balayage mécanique séquentiel de la surface d'un afficheur par une image de toute la zone active du DUT, puis une évaluation des données.

Les aspects à considérer lorsque des LMD de formation d'image sont utilisés, sont:

- la lumière parasite à l'intérieur du LMD (par exemple, une lumière diffuse, un voile lumineux),
- les non-uniformités de sensibilité sur la zone du détecteur,

- la variation en $\cos^4\theta$ de l'éclairement du détecteur.

En plus de la classe des LMD qui forment une image du champ de mesure sur le détecteur, il y a également une classe des LMD qui forment directement une image de la distribution directionnelle de la lumière provenant du champ de mesure sur le DUT. De tels dispositifs de formation d'image incluent des "LMD conoscopiques" [10] et des sphères de formation image ("parousiamètre") [11].

4.4.4 Mesures de contact avec des instruments d'éclairage/de détection intégrés

Certains spectrophotomètres à contact, qui contiennent une source de lumière circulaire et un LMD peuvent également être utilisés pour des mesures de la lumière. Si ces instruments sont utilisés, ils doivent satisfaire à la géométrie d'éclairage et aux lignes directrices du LMD stipulées en 4.3.4 et 4.4.3 pour donner des résultats précis. Les paramètres critiques sont la taille de la zone d'éclairage, de la zone de mesure et de la géométrie de la source d'éclairage. Les instruments de contact peuvent ne pas être conçus pour correspondre aux structures multicouches complexes des EPD, et il convient de les utiliser avec précaution. De nombreux dispositifs intégrés ne satisfont pas à ces exigences et il convient de ne pas les utiliser. La validité des instruments de contact doit être confirmée avec un instrument sans contact (par exemple, un spectroradiomètre à points).

Il convient de toujours indiquer le fabricant, le modèle et toutes les options de configuration du dispositif avec les résultats.

4.5 Étalons de travail et références

4.5.1 Étalon du facteur de réflexion diffuse

Des échantillons d'étalons du facteur de réflexion diffuse blanc peuvent être obtenus avec un facteur de réflexion diffuse de 98 % ou plus. Ils sont également disponibles dans différentes nuances de gris. Une mesure de luminance L_{std} à partir de tels étalons de facteur de réflexion peut être utilisée pour déterminer l'éclairement E sur l'étalon pour une géométrie de détection définie et une configuration et des spectres d'éclairage:

$$E = \frac{\pi L_{\text{std}}}{R_{\text{std}}} \quad (3)$$

où R_{std} est le facteur de réflexion lumineuse étaloné pour cette configuration de mesure. Quand la configuration d'éclairage est un éclairage hémisphérique uniforme, alors R_{std} est équivalent au facteur de réflexion lumineuse ρ_{std} . La valeur du facteur de réflexion lumineuse associée à l'étalon est seulement valide pour l'éclairage hémisphérique dans lequel il a été étaloné. S'il est utilisé avec une source dirigée selon n'importe quel angle, il n'y a aucune raison d'attendre que la valeur du facteur de réflexion lumineuse soit la valeur correcte du facteur de réflexion lumineuse pour cette configuration ou ces spectres d'éclairage.

Les termes réflexion lumineuse et facteur de réflexion lumineuse doivent être abrégés respectivement en réflexion et facteur de réflexion.

4.5.2 Étalon du facteur de réflexion spéculaire

Du verre noir (par exemple BG-1 000) ou un filtre d'absorption de très haute densité neutre (densité de 4 ou plus), peut être utilisé pour déterminer la luminance d'une source L_s à partir de la luminance mesurée L_{std} de l'image d'une source virtuelle réfléchi par le verre noir, et le facteur de réflexion spéculaire ζ_{std} du verre noir pour la configuration de mesure utilisée:

$$L_s = \frac{L_{\text{std}}}{\zeta_{\text{std}}} \quad (4)$$

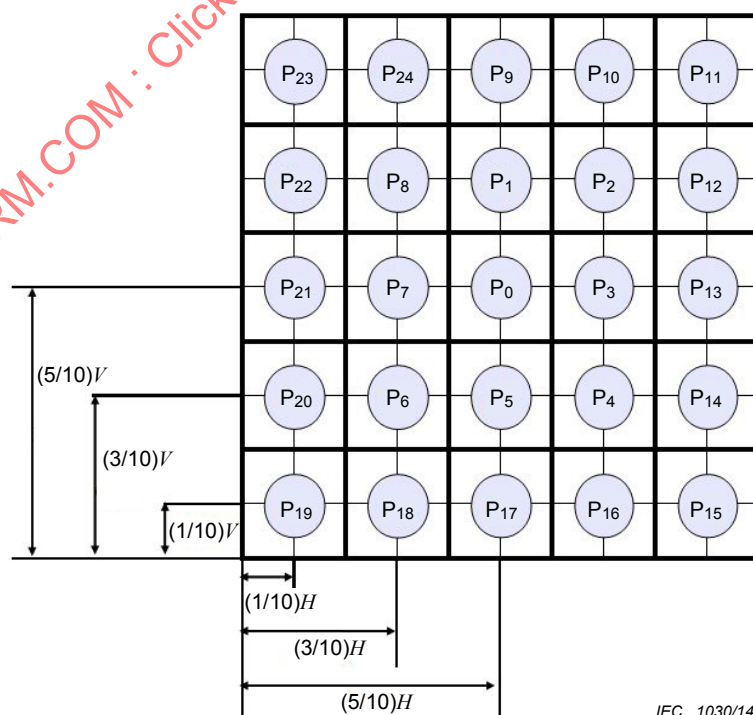
Lorsqu'on effectue des mesures spéculaires, le détecteur est fixé sur l'image virtuelle de la source. Le verre noir peut être considéré comme un miroir de surface avant qui présente un faible facteur de réflexion spéculaire compris entre 4 % et 5 %. Un étalon de verre noir peut être utile quand la géométrie de mesure ne permet pas de mesurer directement la luminance de la source, mais seulement en utilisant un miroir. Le faible facteur de réflexion spéculaire du verre noir permet de mesurer la luminance de la source à peu près au même ordre d'amplitude que la mesure de la réflexion.

Le facteur de réflexion spéculaire du verre noir est affecté par l'angle spéculaire, le spectre d'éclairage et la propreté de sa surface. L'étalonnage doit être répété quand la géométrie de mesure change.[1]

4.6 Emplacements normalisés du champ de mesure

4.6.1 Afficheurs matriciels

Les mesures de la luminance, de la répartition spectrale et/ou des composantes trichromatiques peuvent être réalisées en plusieurs positions spécifiées sur la surface du DUT. À cet effet, la vue frontale de l'afficheur est divisée en 25 rectangles imaginaires identiques (voir Figure 8). Sauf spécification contraire, les mesures sont réalisées au centre de chaque rectangle. Les rectangles sont numérotés en commençant par le centre et en augmentant vers les bords dans le sens horaire selon une spirale. On doit veiller à ce que les champs de mesure sur l'afficheur ne se chevauchent pas. Le positionnement du champ de mesure aux positions ainsi indiquées dans les directions horizontale (H) et verticale (V) doit être dans les limites de 7 % de H et de V respectivement. L'afficheur ou le détecteur doit subir une translation selon les directions horizontale et verticale pour effectuer les mesures aux positions d'affichage souhaitées, toutes les mesures étant faites perpendiculaires à l'écran. Tout écart par rapport aux positions normalisées décrites ci-dessus doit être consigné.



IEC 1030/14

Figure 8 – Positions de mesure normalisées

4.6.2 Afficheurs à segments

Les positions de mesure normalisées sont les mêmes que celles spécifiées ci-dessus pour les afficheurs matriciels. Cependant, pour les afficheurs à segments, toutes les mesures doivent être réalisées au centre d'un segment et il convient que le segment choisi soit aussi proche que possible du centre du rectangle désigné. Ainsi, lorsque des mesures sont requises à la position P_i ($i = 0$ à 24), il convient que le centre géométrique du segment le plus proche du centre de la case P_i soit utilisé pour positionner le détecteur. Tout écart par rapport aux positions normalisées décrites ci-dessus doit être ajouté à la spécification particulière.

Le champ de mesure doit être entièrement contenu dans le segment.

5 Méthodes de mesures optiques

5.1 Mesures de réflexion

5.1.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer le facteur de réflexion d'un EPD dans des conditions définies d'éclairage.

5.1.2 Conditions de mesure

a) Appareillage:

Une source de puissance pour l'alimentation, un équipement de signaux de commande, une sphère d'intégration, une sphère d'échantillonnage ou un hémisphère, et une source de lumière dirigée. Pour les mesures spectrales, un spectroradiomètre pouvant mesurer la luminance et la radiance spectrale est nécessaire, de même qu'un étalon du facteur de réflexion diffuse blanc avec un facteur connu de réflexion spectrale diffuse hémisphérique et un facteur de réflexion spectrale dirigée, étalonné pour la géométrie de mesure prévue. Les mesures photométriques nécessitent un détecteur pouvant mesurer la luminance ainsi qu'un étalon du facteur de réflexion diffuse blanc avec un facteur connu de réflexion diffuse hémisphérique lumineuse et un facteur de réflexion dirigée, étalonné pour la géométrie de mesure et les spectres de source prévus. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre ou un photomètre sans contact étalonné.

b) Condition d'éclairement:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Il convient que le spectre d'éclairage soit proche de l'illuminant D50 ou D65 de la CIE. Sinon, une source de lumière visible stable à large bande et de spectre lisse (par exemple, une lampe à incandescence) doit être utilisée. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source de lumière doivent être consignées.

c) Toutes les autres conditions sont les conditions de mesure normalisées à l'exception des conditions normalisées d'éclairage ambiant.

5.1.3 Mesure du facteur de réflexion spectrale diffuse hémisphérique

a) Placer l'afficheur dans une sphère d'intégration ou d'échantillonnage, comme cela est indiqué à la Figure 6. Mettre sous tension (état ON) et à la température de couleur proximale souhaitée l'éclairage diffus hémisphérique de la sphère d'intégration ou d'échantillonnage. Laisser la source de lumière se stabiliser.

NOTE Un détecteur photopique relié à la sphère permet de contrôler toute variation de l'éclairement de la sphère.

b) Régler le DUT sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran (généralement rouge, vert, bleu ou blanc) au niveau de réflexion le plus élevé, Q étant une variable de la couleur utilisée.

c) Aligner le LMD sur l'orifice de mesure, fixé sur la surface de l'afficheur à la position d'affichage souhaitée et à un angle de 8° à 10° par rapport au plan normal à la surface

d'affichage. Mesurer la radiance spectrale $L_{Q,hemi}(\lambda)$ ou la luminance $L_{Q,hemi}$ à la position de mesure souhaitée sur l'afficheur, où $L_{hemi} = Y_{hemi}$ pour un colorimètre. Pour les mesures spectrales, la luminance de l'afficheur $L_{Q,hemi}$ peut être calculée à l'aide de la relation suivante:

$$L = 683 \int_{\lambda} L(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

où $V(\lambda)$ est la fonction d'efficacité lumineuse relative photopique définie dans la CIE 15.

NOTE Dans la présente norme, les mesures spectrales, telles que la radiance spectrale, sont identifiées spécifiquement par leur relation avec la longueur d'onde (par exemple, $L_{Q,hemi}(\lambda)$), tandis que leur luminance équivalente photométrique ne présente aucune relation explicite avec la longueur d'onde (par exemple, $L_{Q,hemi}$).

- d) Aligner le LMD sur le centre de l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc étalonné et mesurer sa radiance spectrale $L_{std,hemi}(\lambda)$ ou sa luminance $L_{std,hemi}$ avec l'afficheur à l'état de couleur souhaité Q . Dans le cas de la sphère d'échantillonnage, les valeurs $L_{std,hemi}(\lambda)$ et $L_{std,hemi}$ sont la radiance spectrale et la luminance, respectivement, mesurées à partir de la paroi de la sphère adjacente à l'orifice pour échantillons.
- e) Calculer le facteur de réflexion spectrale diffuse hémisphérique $\rho_Q(\lambda)$, ou le facteur de réflexion diffuse hémisphérique lumineuse ρ_Q , de l'afficheur à la couleur Q souhaitée pour la géométrie d'éclairage/de détection mesurée.

Pour les mesures spectrales, la relation suivante s'applique:

$$\rho_Q(\lambda) = \rho_{std}(\lambda) \frac{L_{Q,hemi}(\lambda)}{L_{std,hemi}(\lambda)} \quad (6)$$

où $\rho_{std}(\lambda)$ est le facteur de réflexion spectrale hémisphérique connu pour l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc, ou la paroi de la sphère d'échantillonnage, avec la même géométrie de mesure. Le facteur de réflexion diffuse hémisphérique lumineuse d'un afficheur aux spectres d'éclairage diffus hémisphérique souhaités $E_{hemi}(\lambda)$ est déterminé au moyen du facteur de réflexion spectrale $\rho_Q(\lambda)$ dans l'équation suivante:

$$\rho_Q = \frac{\int_{\lambda} \rho_Q(\lambda) E_{hemi}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} E_{hemi}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

L'illuminant D75 de la CIE doit être utilisé pour simuler un éclairage diffus hémisphérique extérieur, et il convient d'utiliser D50 ou D65 pour simuler un éclairage diffus ambiant. Les répartitions spectrales relatives des illuminants A, D50, D65 et D75 de la CIE, présentés sous forme de tableau dans la CIE 15, doivent être utilisées. Si d'autres illuminants de lumière du jour sont souhaités, la relation suivante provenant de la CIE 15 doit être appliquée:

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) + M_1 E_1(\lambda) + M_2 E_2(\lambda) \quad (8)$$

où les fonctions propres E_0 , E_1 , et E_2 sont présentées sous forme de tableau dans la CIE 15, et M_1 et M_2 sont des valeurs propres définies dans le même document. Par exemple, M_1 et M_2 sont indiquées dans le Tableau 1 pour les illuminants D50 et D75.

Tableau 1 – Valeurs propres M_1 et M_2 pour les illuminants de lumière du jour D50 et D75 de la CIE

Valeurs propres	Température de couleur proximale	
	5 000 K	7 500 K
M_1	-1,040 1	0,143 58
M_2	0,366 66	-0,759 93

Pour les mesures de la luminance, l'équivalent photométrique de l'Équation (6) est utilisé:

$$\rho_Q = \rho_{\text{std}} \frac{L_{Q,\text{hemi}}}{L_{\text{std,hemi}}} \quad (9)$$

Cette relation est seulement valide quand la mesure est faite avec la même géométrie et la même répartition spectrale que celles utilisées pour étalonner l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc ρ_{std} . En outre, tout calcul des performances de l'afficheur qui utilise le facteur de réflexion diffuse hémisphérique lumineuse déterminé par la méthode photométrique de l'Équation (9), n'est valable que pour les sources de lumière dont les spectres et la géométrie sont similaires.

- f) Consigner dans le rapport la température de couleur proximale (CCT) de l'éclairage d'essai de l'afficheur, la configuration d'essai, ρ_Q et l'éclairement E_{hemi} sur l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc. Pour les mesures spectrales, l'éclairement énergétique spectral $E_{\text{hemi}}(\lambda)$ est d'abord déterminé en utilisant $L_{\text{std,hemi}}(\lambda)$ sous la forme dépendant de la longueur d'onde de l'Équation (3). L'éclairement E_{hemi} peut être obtenu à partir de la relation générale:

$$E = 683 \int_{\lambda} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

Pour les mesures de la luminance, l'éclairement E_{hemi} est déterminé directement par l'Équation (3) en utilisant la luminance de l'étalon du facteur de réflexion blanc $L_{\text{std,hemi}}$.

5.1.4 Mesure du facteur de réflexion pour une source de lumière dirigée

- Aligner le LMD sur l'angle de visualisation de l'afficheur souhaité.
- Placer la source dirigée dans la géométrie d'éclairage souhaitée. Généralement, la géométrie de la source dirigée isolée doit être appliquée, à moins que l'afficheur ne présente une forte diffusion matricielle. Pour les afficheurs qui présentent une diffusion matricielle, la source de lumière circulaire doit être utilisée. Mettre sous tension (état ON) la source de lumière dirigée à la température de couleur proximale souhaitée, et laisser la source de lumière se stabiliser. Régler l'intensité de la source de sorte que la lumière réfléchie par l'afficheur génère un signal fort au niveau du dispositif de mesure de la lumière.
- Régler le DUT sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran au niveau de réflexion le plus élevé.
- Mesurer la radiance spectrale $L_{Q,\text{dir}}(\lambda)$ ou la luminance $L_{Q,\text{dir}}$ à la position de mesure souhaitée sur l'afficheur, où $L_{Q,\text{dir}} = Y_{Q,\text{dir}}$ pour un colorimètre. Pour les mesures spectrales, l'Équation (5) permet de calculer la luminance $L_{Q,\text{dir}}$ de l'afficheur avec un éclairage directionnel.
- Retirer l'afficheur et placer l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc dans le même plan de mesure du LMD.
- Mesurer la radiance spectrale $L_{\text{std,dir}}(\lambda)$ ou la luminance $L_{\text{std,dir}}$ à partir de l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc étalonné. Pour les mesures spectrales, la forme dépendant de la longueur d'onde de l'Équation (3) permet de déterminer l'éclairement énergétique spectral $E_{\text{dir}}(\lambda)$ sur l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc et sur l'afficheur. Dans cette équation, $R(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda)$ est le facteur de réflexion spectrale

connu pour l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc avec la même géométrie. L'Équation (10) permet de calculer l'éclairement E_{dir} sur l'afficheur. Pour les mesures photométriques, l'éclairement E_{dir} est calculé directement à l'aide de l'Équation (3).

- g) Calculer le facteur de réflexion spectrale $R_{\text{dir}}(\lambda)$, ou le facteur de réflexion lumineuse $R_{\text{Q,dir}}$, de la couleur de l'afficheur avec un éclairage directionnel pour la géométrie d'éclairage/de détection mesurée.

Pour les mesures spectrales, l'équation suivante permet de déterminer le facteur de réflexion spectrale $R_{\text{dir}}(\lambda)$:

$$R_{\text{Q,dir}}(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda) \frac{L_{\text{Q,dir}}(\lambda)}{L_{\text{std,dir}}(\lambda)} \quad (11)$$

L'équation suivante doit être utilisée pour calculer le facteur de réflexion lumineuse $R_{\text{Q,dir}}$ pour un afficheur à une couleur Q avec un éclairage directionnel ayant la répartition spectrale souhaitée:

$$R_{\text{Q,dir}} = \frac{\int_{\lambda} R_{\text{Q,dir}}(\lambda) E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (12)$$

où $E_{\text{dir}}(\lambda)$ est la répartition spectrale relative des spectres d'éclairage souhaités. Pour simuler des environnements d'éclairage ambiant, les spectres d'éclairage utilisés dans ce calcul doivent être les mêmes que ceux utilisés pour le calcul du facteur de réflexion diffuse hémisphérique (Équation (7)). En simulant l'environnement d'éclairage extérieur de lumière directe du soleil, l'illuminant D50 de la CIE doit être utilisé pour $E_{\text{dir}}(\lambda)$.

Pour les mesures photométriques, une relation analogue à l'Équation (11) est utilisée pour déterminer R_{dir} . Cette relation est seulement valide quand la mesure est faite avec la même géométrie et la même répartition spectrale que celles utilisées pour étalonner l'étalon du facteur de réflexion diffuse blanc $R_{\text{std,dir}}$.

- h) Consigner la CCT de l'éclairage d'essai de l'afficheur, les paramètres du détecteur (angle de visualisation, angle de champ de mesure, distance par rapport à l'échantillon) et les paramètres de la source d'éclairage (angle d'incidence, angle sous-tendu, distance par rapport à l'échantillon, divergence de faisceau), $R_{\text{Q,dir}}$, et le niveau d'éclairage mesuré E_{dir} dans le rapport.

5.2 Uniformité dans le plan photométrique de l'afficheur

5.2.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer l'uniformité dans le plan photométrique d'un EPD dans des conditions normalisées d'éclairage diffus hémisphérique ou directionnel.

5.2.2 Équipement de mesure

- a) Appareillage:

Un luminancemètre, un colorimètre ou un spectroradiomètre; une source de puissance pour l'alimentation; un équipement de signaux de commande; un moyen permettant d'effectuer une translation verticale et horizontale de l'afficheur ou du détecteur/source; et un étalon de réflexion diffuse blanc étalonné pour la géométrie d'éclairage/de détection utilisée. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre, un colorimètre ou un photomètre sans contact étalonné.

- b) Condition d'éclairage:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Il convient que le spectre d'éclairage soit proche de l'illuminant D50 ou D65 de la CIE. Sinon, une source de lumière visible stable à large bande et de spectre

lisse (par exemple, une lampe à incandescence) doit être utilisée. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source de lumière doivent être consignées.

5.2.3 Méthode de mesure

5.2.3.1 Éclairage hémisphérique

- Régler la géométrie d'éclairage/de détection hémisphérique normalisée.
- Placer l'afficheur dans le plan de mesure de la source de lumière et du détecteur. Régler l'afficheur sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran au niveau de réflexion le plus élevé. Laisser la source, le détecteur et l'afficheur se stabiliser.
- Si l'affichage est petit et placé à l'intérieur d'une sphère d'intégration, déplacer l'afficheur latéralement dans le plan de mesure et effectuer des mesures séquentielles aux cinq emplacements (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} et P_{23}) ou neuf emplacements (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} et P_{23}) définis à la Figure 8. Si l'afficheur est grand et une sphère d'échantillonnage ou un hémisphère est utilisé, déplacer latéralement la sphère d'échantillonnage ou l'hémisphère vers chacun des mêmes cinq ou neuf emplacements sur l'afficheur. Le facteur de réflexion lumineuse ρ_{Q,P_i} est mesuré à chaque emplacement P_i . Pour des mesures au spectroradiomètre, déterminer le facteur de réflexion spectrale $\rho_{Q,P_i}(\lambda)$ à chaque emplacement. Calculer ensuite le facteur de réflexion lumineuse équivalent pour l'illuminant D50 ou D65 de la CIE à chaque emplacement.

5.2.3.2 Éclairage directionnel

- Régler la géométrie d'éclairage/de détection directionnel normalisée.
- Placer l'afficheur dans le plan de mesure de la source de lumière et du détecteur. Régler l'afficheur sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran au niveau de réflexion le plus élevé. Laisser la source, le détecteur et l'afficheur se stabiliser.
- Déplacer l'afficheur latéralement dans le plan de mesure et effectuer des mesures séquentielles aux cinq emplacements (positions P_0 , P_{11} , P_{15} , P_{19} et P_{23}) ou neuf emplacements (positions P_0 , P_9 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{17} , P_{19} , P_{21} et P_{23}) définis à la Figure 8. Déterminer le facteur de réflexion lumineuse R_{Q,P_i} à chaque emplacement P_i . Pour des mesures au spectroradiomètre, déterminer le facteur de réflexion spectrale $R_{Q,P_i}(\lambda)$ à chaque emplacement. Calculer ensuite le facteur de réflexion lumineuse équivalent pour l'illuminant D50 ou D65 de la CIE à chaque emplacement.

5.2.4 Définitions et évaluations

La non-uniformité photométrique en pourcentage de l'afficheur à la couleur Q sous éclairage hémisphérique est donnée par:

$$NU_{Q,hemi}(\lambda) = 100\% \frac{\rho_{Q,max} - \rho_{Q,min}}{\rho_{Q,max}} \quad (13)$$

où $\rho_{Q,max}$ et $\rho_{Q,min}$ sont les valeurs maximale et minimale du facteur de réflexion lumineuse, respectivement, des emplacements mesurés. Pour un éclairage directionnel, la non-uniformité photométrique en pourcentage de l'afficheur à la couleur Q est donnée par:

$$NU_{Q,dir}(\lambda) = 100\% \frac{R_{Q,max} - R_{Q,min}}{R_{Q,max}} \quad (14)$$

où $R_{Q,max}$ et $R_{Q,min}$ sont les valeurs maximale et minimale du facteur de réflexion lumineuse, respectivement, des emplacements mesurés.

Il convient de consigner la valeur de non-uniformité photométrique avec la description de la géométrie d'éclairage/de détection et de la CCT de la source de lumière auxquelles elle a été mesurée ou calculée (par exemple, en référence à D65 de la CIE).

5.3 Rapport de contraste

5.3.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer le rapport de contraste d'un EPD dans des conditions définies d'éclairage diffus hémisphérique ou directionnel.

5.3.2 Équipement de mesure

a) Appareillage:

Un luminancemètre, un colorimètre ou un spectroradiomètre pouvant mesurer la luminance, une source de puissance pour l'alimentation et un équipement de signaux de commande. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre, un colorimètre ou un photomètre sans contact étalonné.

b) Condition d'éclairage:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Il convient que le spectre d'éclairage soit proche de l'illuminant D50 ou D65 de la CIE. Sinon, une source de lumière visible stable à large bande et de spectre lisse (par exemple, une lampe à incandescence) doit être utilisée. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source de lumière doivent être consignées.

5.3.3 Méthode de mesure

a) Établir le montage de mesure d'éclairage/de détection en utilisant une des géométries normalisées d'éclairage et de détecteur. Il convient d'utiliser les conditions recommandées. Consigner la géométrie d'éclairage/de détection utilisée pour la mesure dans le rapport.

b) Régler le DUT sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran au niveau de réflexion le plus élevé. Un écran blanc est recommandé. Aligner le LMD sur le centre de l'écran (position P_0) selon l'angle de visualisation normalisé.

c) Mesurer la luminance de l'afficheur $L_{Q,high}$ au niveau de réflexion le plus élevé.

Si un spectroradiomètre est utilisé, mesurer d'abord le facteur de réflexion spectrale en utilisant la procédure présentée en 5.1. Déterminer ensuite le facteur de réflexion lumineuse $R_{Q,high}$ en utilisant les Équations (5) et (6) pour l'éclairage hémisphérique, ou les Équations (10) et (11) pour l'éclairage directionnel, où $E(\lambda)$ est la répartition spectrale relative pour D50 ou D65 de la CIE.

d) Régler le DUT sur le plus bas niveau de réflexion.

e) Mesurer la luminance de l'afficheur $L_{Q,low}$ au niveau de réflexion le plus bas.

Le même spectre d'éclairage que celui utilisé pour le niveau de réflexion le plus élevé doit être utilisé pour calculer le facteur de réflexion lumineuse $R_{Q,low}$ au niveau de réflexion le plus bas.

5.3.4 Définitions et évaluations

Le rapport de contraste CR est défini par:

$$CR = \frac{L_{Q,high}}{L_{Q,low}} \quad (15)$$

Si un spectroradiomètre a été utilisé pour mesurer les facteurs de réflexion lumineuse du DUT pour l'illuminant D50 ou D65 de la CIE, alors le rapport de contraste peut être déterminé par:

$$CR = \frac{R_{Q,high}}{R_{Q,low}} \quad (16)$$

NOTE Si la mesure est effectuée en utilisant un éclairage hémisphérique, le résultat peut être noté $CR_{Q,hemi}$; si un éclairage directionnel est utilisé, le résultat de mesure peut être noté $CR_{Q,dir}$.

Le rapport doit indiquer les spectres d'éclairage utilisés pour la mesure du rapport de contraste.

5.4 Rapport de contraste ambiant

5.4.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer le rapport de contraste ambiant d'un EPD dans des conditions définies d'éclairage intérieur ou lumière du jour. Il est calculé en se basant sur des mesures de réflexion antérieures.

5.4.2 Conditions de mesure

a) Condition d'éclairement:

Les conditions normalisées d'éclairage ambiant pour un local ou lumière du jour dans des conditions de ciel dégagé doivent être appliquées. D'autres conditions d'éclairage (par exemple D50 ou D65) peuvent également être utilisées, en fonction de l'application.

b) Toutes les autres conditions sont les conditions de mesure normalisées à l'exception des conditions normalisées d'éclairage ambiant.

5.4.3 Méthode de mesure

Les mesures de la réflexion de l'afficheur dans des conditions d'éclairage diffus hémisphérique et à source dirigée permettent de déterminer le rapport de contraste ambiant. La méthode de mesure du facteur de réflexion diffuse hémisphérique et du facteur de réflexion dirigée de l'afficheur pour les spectres d'éclairage requis est définie en 5.1.3 et en 5.1.4. Ces paramètres de réflexion permettent de calculer la luminance réfléchie combinée d'un afficheur à son niveau de gris de réflexion le plus bas (couleur K) et à son niveau de gris de réflexion le plus élevé (couleur W) aux niveaux d'éclairement requis. Le rapport de contraste ambiant est le rapport entre la luminance combinée à l'état haut et la luminance combinée à l'état bas.

Calculer le rapport de contraste ambiant intérieur ou de lumière du jour en utilisant l'équation suivante:

$$ACR = \frac{\left(R_{W,dir} + \rho_W \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_s} \right)}{\left(R_{K,dir} + \rho_K \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_s} \right)} \quad (17)$$

où les paramètres par défaut sont $E_{hemi} = 300$ lx, $\theta_s = 45^\circ$ et $E_{dir} \cos \theta_s = 200$ lx pour une salle de lecture, et $E_{hemi} = 15\,000$ lx, $\theta_s = 45^\circ$ et $E_{dir} \cos \theta_s = 65\,000$ lx pour le rapport de contraste extérieur de lumière du jour. Si d'autres géométries ou niveaux d'éclairement sont utilisés, ils doivent être indiqués dans le rapport. Toutes les valeurs utilisées pour le calcul du rapport de contraste ambiant doivent être consignées dans le rapport.

5.5 Diaphonie

5.5.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer la diaphonie photométrique d'un EPD dans des conditions normalisées d'éclairage diffus hémisphérique ou directionnel.

5.5.2 Équipement de mesure

a) Appareillage:

Un luminancemètre, un colorimètre ou un spectroradiomètre pouvant mesurer la luminance, une source de puissance pour l'alimentation et un équipement de signaux de commande. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre, un colorimètre ou un photomètre sans contact étalonné.

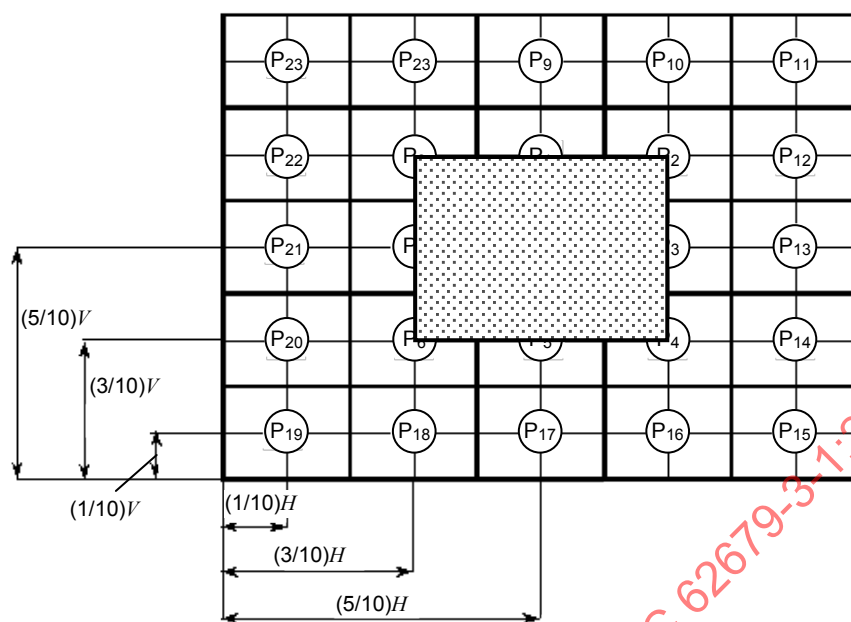
b) Condition d'éclairage:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Il convient que le spectre d'éclairage soit proche de l'illuminant D50 ou D65 de la CIE. Sinon, une source de lumière visible stable à large bande et de spectre lisse (par exemple, une lampe à incandescence) doit être utilisée. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source de lumière doivent être consignées.

5.5.3 Afficheurs matriciels à échelle des gris

5.5.3.1 Méthode de mesure

- a) L'afficheur est excité avec une couleur Q sur le plein écran à un niveau de signal d'entrée de 50 % de la pleine échelle. Par exemple, dans un système RVB sur 8 bits, une couleur primaire est placée au niveau de signal 128. Il est recommandé qu'au moins une couleur grise soit utilisée dans cette mesure. Laisser l'écran se stabiliser pendant au moins 3 secondes. La réflectance ou le facteur de réflexion est alors mesuré aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} perpendiculairement à l'écran (ou la configuration di:8° pour un éclairage hémisphérique). Le facteur de réflexion mesuré à chaque emplacement P_i est $R_{ref}[i]$.
- b) L'écran est excité pour produire sur l'image précédente un rectangle noir (niveau de réflexion le plus bas) dont les angles sont définis par les centres des positions P_2 , P_4 , P_6 et P_8 (voir Figure 9). Laisser l'écran se stabiliser pendant au moins 3 secondes. Le facteur de réflexion $R_K[i]$ aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} est mesuré une nouvelle fois.
- c) Finalement, les données d'image à l'intérieur du rectangle défini ci-dessus sont changées pour être des données de blanc sur le plein écran (le niveau de réflexion le plus élevé). Laisser l'écran se stabiliser pendant au moins 3 secondes. Mesurer ensuite le facteur de réflexion $R_W[i]$ aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} .



IEC 1031/14

Figure 9 – Mire de fenêtre pour la mesure de la diaphonie

5.5.3.2 Définitions et évaluations

La diaphonie horizontale du blanc HXT_W est définie par:

$$HXT_W(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W[21] - R_{ref}[21]}{R_{ref}[21]} \right|, \left| \frac{R_W[13] - R_{ref}[13]}{R_{ref}[13]} \right| \right) \quad [\%] \quad (18)$$

où l'opérateur $\max(|A|, |B|)$ donne la valeur absolue maximale entre A et B.

La diaphonie horizontale du noir HXT_K est définie par:

$$HXT_K(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K[21] - R_{ref}[21]}{R_{ref}[21]} \right|, \left| \frac{R_K[13] - R_{ref}[13]}{R_{ref}[13]} \right| \right) \quad [\%] \quad (19)$$

La diaphonie horizontale (totale) HXT est maintenant définie par:

$$HXT = \max(HXT_W, HXT_K) \quad (20)$$

De la même manière, la diaphonie verticale du blanc VXT_W est définie par:

$$VXT_W(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W[9] - R_{ref}[9]}{R_{ref}[9]} \right|, \left| \frac{R_W[17] - R_{ref}[17]}{R_{ref}[17]} \right| \right) \quad [\%] \quad (21)$$

La diaphonie verticale du noir VXT_K est définie par:

$$VXT_K(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K[9] - R_{ref}[9]}{R_{ref}[9]} \right|, \left| \frac{R_K[17] - R_{ref}[17]}{R_{ref}[17]} \right| \right) [\%] \quad (22)$$

et la diaphonie verticale (totale) VXT est définie par:

$$VXT = \max(VXT_W \vee VXT_K) \quad (23)$$

5.5.4 Afficheurs matriciels noir et blanc (deux niveaux)

5.5.4.1 Méthode de mesure

- Appliquer un signal plein écran au dispositif qui produit l'état de réflexion maximal. Mesurer ensuite le facteur de réflexion aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} sous une incidence normale vers l'écran. Définir le facteur de réflexion mesuré à la position P_i comme $R_{\max ref}[i]$.
- Le niveau de commande à l'intérieur d'un rectangle défini par les centres des positions P_2 , P_4 , P_6 et P_8 (voir Figure 9) est changé pour devenir l'état de réflexion le plus bas, et le facteur de réflexion aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} est mesuré une nouvelle fois et appelé $R_{\min}[i]$.
- Appliquer un signal plein écran au dispositif qui produit l'état de réflexion minimal. Mesurer ensuite le facteur de réflexion aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} . Définir le facteur de réflexion mesuré à la position P_i comme $R_{\min ref}[i]$.
- Le niveau de commande à l'intérieur d'un rectangle défini par les centres des positions P_2 , P_4 , P_6 et P_8 (voir Figure 9) est changé pour devenir l'état de réflexion le plus élevé, et le facteur de réflexion aux positions P_9 , P_{13} , P_{17} et P_{21} est mesuré une nouvelle fois et appelé $R_{\max}[i]$.

5.5.4.2 Définitions et évaluations

La diaphonie minimale/maximale $XT_{\min/\max}$ est définie comme:

$$XT_{\min/\max}(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{\min}[i] - R_{\max ref}[i]}{R_{\max ref}[i]} \right|; i = 9, 13, 17, 21 \right) [\%] \quad (24)$$

La diaphonie maximale/minimale $XT_{\max/\min}$ est définie comme:

$$XT_{\max/\min}(\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{\max}[i] - R_{\min ref}[i]}{R_{\min ref}[i]} \right|; i = 9, 13, 17, 21 \right) [\%] \quad (25)$$

Le résultat de cette mesure peut être considérablement affecté par la sensibilité du LMD. Les conditions de mesure doivent être consignées.

5.6 Couleur d'affichage, gamme de couleurs et aire de gamme de couleurs

5.6.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer la chromaticité et la gamme de couleurs d'un EPD à une couleur donnée Q dans des conditions définies d'éclairage diffus hémisphérique ou directionnel.

5.6.2 Équipement de mesure

- Appareillage:

Un spectroradiomètre; une source de puissance pour l'alimentation; un équipement de signaux de commande; et un étalon de réflexion diffuse blanc étalonné pour la géométrie d'éclairage/de détection utilisée. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre sans contact étalonné.

b) Condition d'éclairage:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Une source de lumière à large bande et de spectre lisse (par exemple, une lampe à incandescence stable) doit être utilisée. D'autres conditions d'éclairage peuvent également être appliquées, selon l'application. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source de lumière doivent être consignées.

5.6.3 Méthode de mesure

- Établir le montage de mesure d'éclairage/de détection en utilisant une des géométries normalisées d'éclairage et de détecteur. Il convient d'utiliser les conditions recommandées. Consigner la géométrie d'éclairage/de détection utilisée pour la mesure dans le rapport.
- Régler le DUT sur la couleur souhaitée Q sur le plein écran au niveau de réflexion le plus élevé. Aligner le LMD sur le centre de l'écran (position P_0) selon la direction de visualisation normalisée.
- Mesurer le facteur de réflexion spectrale ($\rho_{Q,high}(\lambda)$ ou $R_{Q,high}(\lambda)$) pour la couleur Q d'un afficheur. Déterminer ensuite le facteur de réflexion lumineuse $\rho_{Q,high}$ en utilisant les Équations (6) et (7) pour l'éclairage hémisphérique, ou le facteur de réflexion lumineuse $R_{Q,high}$ en utilisant les Équations (11) et (12) pour l'éclairage directionnel, où $E(\lambda)$ est la répartition spectrale relative pour l'illuminant D50 ou D65 de la CIE.

5.6.4 Définitions et évaluations

Les composantes trichromatiques normalisées d'un afficheur à l'état de couleur Q sous un éclairage hémisphérique, avec une répartition spectrale $E_D(\lambda)$, de l'illuminant D50 ou D65 de la CIE, sont données par:

$$X'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (26)$$

$$Y'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (27)$$

$$Z'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,high}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (28)$$

et

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (29)$$

où $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, et $\bar{z}(\lambda)$ sont les fonctions colorimétriques (voir CIE 15). Une analyse similaire est réalisée pour déterminer les composantes trichromatiques normalisées pour un éclairage directionnel, avec $R_{Q,high}$ remplacé par $\rho_{Q,high}$. L'espace chromatique XYZ de la CIE 1931 définit les coordonnées trichromatiques (x , y) de l'afficheur à l'état de couleur souhaité Q dans les conditions d'éclairage définies:

$$x_Q = \frac{X'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (30)$$

$$y_Q = \frac{Y'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (31)$$

Puisque l'espace chromatique XYZ n'est pas perçu comme étant uniforme, il est recommandé d'exprimer la couleur de l'afficheur dans l'espace chromatique uniforme CIE 1976 (CIE 1976 UCS³) avec les coordonnées trichromatiques (u' , v'):

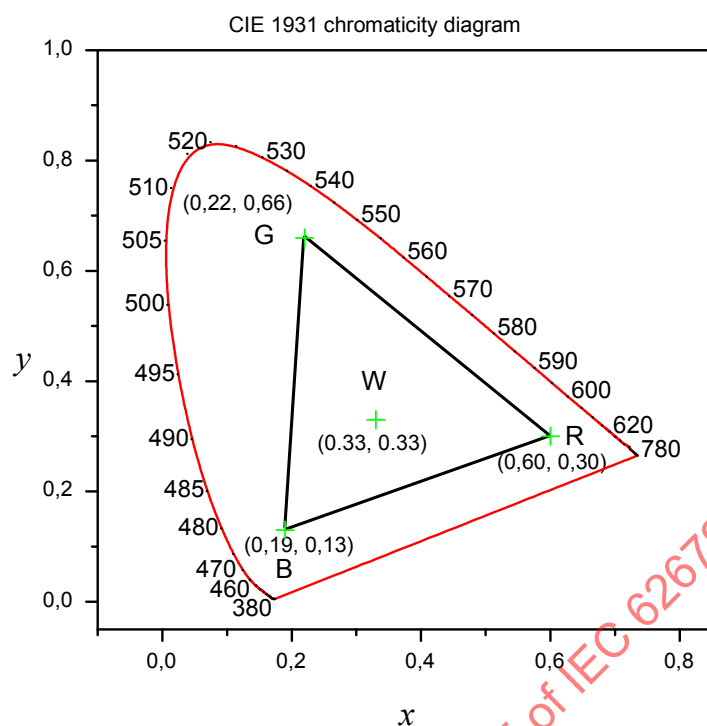
$$u'_Q = \frac{4X'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{4x_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (32)$$

$$v'_Q = \frac{9Y'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{9y_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (33)$$

5.6.5 Gamme de couleurs d'affichage

La gamme de couleurs d'un afficheur est déterminée en mesurant les coordonnées trichromatiques CIE 1931 (x , y) de chaque couleur primaire en séquence à leur niveau de réflexion le plus élevé. Il convient également de mesurer les coordonnées trichromatiques de la couleur blanche pour la source d'éclairage donnée avec toutes les couleurs primaires à leurs niveaux de réflexion les plus élevés. Il convient que toutes les couleurs primaires et le point blanc soient présentés sous forme de tableau dans le rapport. La gamme de couleurs est illustrée par le triangle du diagramme de chromaticité (x , y) de la CIE 1931 dont les sommets correspondent aux coordonnées trichromatiques des couleurs primaires mesurées (x_R , y_R), (x_G , y_G) et (x_B , y_B) (voir Figure 10). On utilise les valeurs suivantes pour déterminer la gamme de couleurs: aire de la gamme de couleurs dans un diagramme de chromaticité en deux dimensions, volume de la gamme de couleurs dans un espace chromatique en trois dimensions. Il convient d'utiliser des espaces de couleurs uniformes tels que CIELUV et CIELAB pour déterminer ces valeurs de gamme de couleurs.

³ UCS = uniform colour space.



Légende

Anglais	Français
CIE 1931 chromaticity diagram	Diagramme de chromaticité CIE 1931
G	Vert
W	Blanc
B	Noir
R	Rouge

Figure 10 – Exemple de gamme de couleurs d'un afficheur

5.6.6 Aire de gamme de couleurs d'affichage

5.6.6.1 Aire de gamme de couleurs dans le diagramme de chromaticité $u'v'$ de la CIE 1976

L'aire de la gamme de couleurs d'un afficheur peut être déterminée en mesurant les coordonnées trichromatiques CIE 1976 UCS (u' , v') de chaque couleur primaire en séquence à leur niveau de réflexion le plus élevé. Si les données de mesure sont des chromaticités CIE 1931 (x , y), les transformations des Équations (32) et (33) sont utilisées. L'aire de la gamme de couleurs est calculée comme l'aire du triangle sous-tendu par les chromaticités CIE 1976 UCS (u'_R , v'_R), (u'_G , v'_G), (u'_B , v'_B) des couleurs primaires de l'afficheur et consignées sous forme de pourcentage par rapport à l'aire située à l'intérieur du lieu du spectre entier: $A = 256,1 \cdot |(u'_R - u'_B)(v'_G - v'_B) - (u'_G - u'_B)(v'_R - v'_B)|$, où les indices R, V et B désignent les couleurs primaires rouge, vert et bleu. Par exemple, l'aire de la gamme de couleurs de l'exemple de la Figure 10 est 25 % et celle des couleurs primaires sRGB (IEC 61966-2-1) ayant les chromaticités (x , y) rouge (0,64, 0,33), vert (0,30, 0,60) et bleu (0,15, 0,06) est 33 %.

5.6.6.2 Aire de gamme de couleurs dans CIELAB 1976

L'aire de gamme de couleurs perçues peut également être calculée dans le plan a^*b^* de l'espace chromatique CIELAB 1976. Mesurer d'abord les facteurs de réflexion spectrale (Équation (6) ou (11)) des couleurs sur le plein écran indiquées dans le Tableau 2.

Déterminer ensuite les composantes trichromatiques normalisées pour un blanc de référence D50 ou D65 en utilisant les Équations (26) à (29). Calculer finalement les valeurs CIELAB L^* , a^* et b^* pour chaque couleur Q en utilisant les équations suivantes:

$$L^* = 116 \times f(Y/Y_n) - 16 \quad (34)$$

$$a^* = 500 \times [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (35)$$

$$b^* = 200 \times [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (36)$$

où

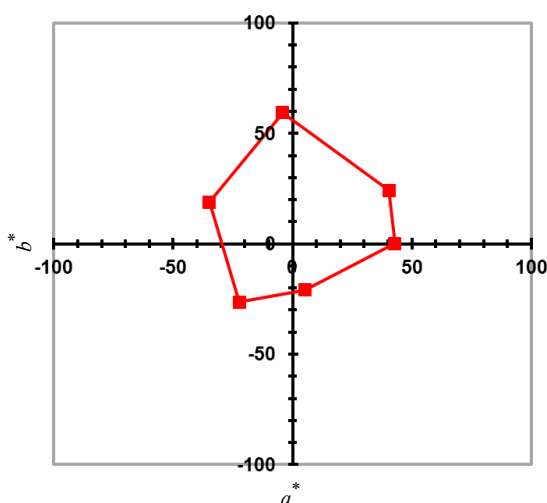
$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > (6/29)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{16}{116} & \text{sinon} \end{cases} \quad (37)$$

avec X_n , Y_n , et Z_n représentant les composantes trichromatiques d'un diffuseur blanc Lambertien parfait, et X , Y et Z représentant les autres couleurs du Tableau 2. Les composantes trichromatiques sous forme de tableau pour un diffuseur blanc Lambertien parfait éclairé par différents illuminants CIE sont données dans la IEC 61966-2-1, y compris l'illuminant D50 ($X_n = 96,43$, $Y_n = 100$ et $Z_n = 82,51$) et l'illuminant D65 ($X_n = 95,046$, $Y_n = 100$ et $Z_n = 108,906$) de la CIE.

Tableau 2 – Signaux d'entrée pour des mesures d'aire de gamme de couleurs CIELAB et CIE UCS $u'v'$

Couleur Q	Niveau de signal sur 8 bits		
	R	V	B
Rouge	255	0	0
Vert	0	255	0
Bleu	0	0	255
Jaune	255	255	0
Magenta	255	0	255
Cyan	0	255	255
Blanc	255	255	255
NOTE La couleur "blanc" n'est pas nécessaire pour évaluer l'aire de gamme de couleurs. La couleur "blanche" est incluse dans ce tableau uniquement pour montrer le point blanc dans le diagramme CIE UCS $u'v'$.			

Les valeurs a^* et b^* des couleurs saturées du Tableau 2 sont tracées sur le plan a^*b^* de l'espace chromatique CIELAB. Un exemple est donné à la Figure 11.



IEC 1033/14

Figure 11 – Exemple de résultats d'évaluation pour l'aire de la gamme de couleurs sur le plan a^*b^* de l'espace chromatique CIE LAB

Les limites de l'aire de la gamme de couleurs d'un dispositif sont représentées par les couleurs saturées mesurées. Une approximation de l'aire de la gamme de couleurs (A) doit être calculée par:

$$A = \frac{1}{2} \left| (a_1^* - a_2^*)(b_1^* + b_2^*) + (a_2^* - a_3^*)(b_2^* + b_3^*) + \dots + (a_5^* - a_6^*)(b_5^* + b_6^*) + (a_6^* - a_1^*)(b_6^* + b_1^*) \right| \quad (38)$$

où (a_i^*, b_i^*) est la valeur des coordonnées de la $i^{\text{ème}}$ couleur sur le plan a^*b^* .

5.7 Uniformité dans le plan colorimétrique de l'afficheur

5.7.1 Objet

L'objet de cette méthode est de déterminer l'uniformité dans le plan colorimétrique d'un EPD dans des conditions normalisées d'éclairage diffus hémisphérique ou directionnel.

5.7.2 Équipement de mesure

a) Appareillage:

Un spectroradiomètre; une source de puissance pour l'alimentation; un équipement de signaux de commande; un moyen permettant d'effectuer une translation verticale et horizontale de l'afficheur ou du détecteur/source de lumière; et un étalon de réflexion diffuse blanc étalonné pour la géométrie d'éclairage/de détection utilisée. Un spectrophotomètre à contact peut également être utilisé si sa validité a été démontrée par rapport à un spectroradiomètre sans contact étalonné.

b) Condition d'éclairage:

Les conditions normalisées d'éclairage directionnel à lumière circulaire ou hémisphérique doivent être utilisées. Une source de lumière à large bande et de spectre lisse (telle qu'une lampe à incandescence stable) doit être utilisée. La géométrie d'éclairage/de détection utilisée et la CCT de la source doivent être consignées.

5.7.3 Méthode de mesure

5.7.3.1 Éclairage hémisphérique

a) Régler la géométrie d'éclairage/de détection hémisphérique normalisée.