

---

---

**Optique et photonique — Méthodes  
générales d'essai optique —  
Méthode de mesure de l'éclairement  
énergétique relatif dans le champ  
image**

*Optics and photonics — General optical test methods — Measurement  
of relative irradiance in the image field*

(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 13653:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019>



iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 13653:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
Fax: +41 22 749 09 47  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Grandeurs, symboles et unités</b> .....	<b>2</b>
<b>5</b> <b>Désignation</b> .....	<b>2</b>
<b>6</b> <b>Description des méthodes de mesure</b> .....	<b>3</b>
6.1   Facteurs d'influence de l'éclairement énergétique relatif.....	3
6.1.1   Généralités.....	3
6.1.2   Réduction naturelle de luminosité, $F_{\text{nat}} = \cos^4\omega_p$ (loi $\cos^4$ ).....	3
6.1.3   Surface relative de la pupille, $F_p(\omega_p)$ .....	3
6.1.4   Vignelage, $F_{\text{vig}}(\omega_p)$ .....	3
6.1.5   Influence de la transmission, $F_T(\omega_p)$ .....	3
6.1.6   Modification de la taille de l'élément de surface de l'image due à une distorsion.....	3
6.1.7   Éclairement énergétique relatif résultant.....	4
6.2   Classification des méthodes de mesure.....	4
6.3   Brève description du mesurage de l'éclairement énergétique.....	4
6.4   Brève description du mesurage du flux énergétique.....	5
<b>7</b> <b>Mesurage de l'éclairement énergétique relatif</b> .....	<b>5</b>
7.1   Description de la configuration de mesure.....	5
7.1.1   Source de rayonnement.....	5
7.1.2   Support de l'éprouvette.....	5
7.1.3   Système de mesure.....	5
7.2   Mise en œuvre du mesurage.....	6
7.2.1   Réglage de la configuration de mesure.....	6
7.2.2   Domaine spectral.....	6
7.2.3   Détermination de la valeur de mesure.....	6
7.2.4   Sélection de la hauteur d'image et des angles de champ image-espace vus de la pupille.....	7
<b>8</b> <b>Mesurage du flux énergétique</b> .....	<b>7</b>
8.1   Description de la configuration de mesure.....	7
8.1.1   Source de rayonnement.....	7
8.1.2   Dispositifs de réglage.....	8
8.1.3   Système de mesure.....	8
8.2   Mesurage.....	8
8.2.1   Réglage de la configuration de mesure.....	8
8.2.2   Domaine spectral.....	9
8.2.3   Détermination de la valeur de mesure.....	9
8.2.4   Sélection des angles de champ objet-espace vus de la pupille.....	9
<b>9</b> <b>Présentation des résultats</b> .....	<b>10</b>
9.1   Tableau.....	10
9.2   Représentation graphique.....	10
9.2.1   Courbes des valeurs mesurées.....	10
9.2.2   Courbes d'éclairement énergétique relatif isométrique.....	10
<b>10</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>11</b>
<b>11</b> <b>Exemples</b> .....	<b>11</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 1, *Normes fondamentales*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 13653:1996), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Une deuxième option de mesure qui ne nécessite pas de rotation de l'échantillon mais permet de mesurer le long d'un diamètre d'image a été incluse en [7.2.3](#).

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Dans chaque image projetée par un système optique ou électro-optique, l'éclairement énergétique varie du centre au bord, quelles que soient les structures de l'objet. Cet éclairement énergétique décroît en général, c'est-à-dire que même la surface d'un objet de luminance énergétique uniforme se projette avec un éclairement énergétique allant en décroissant du centre au bord de l'image. Toutefois, dans certains cas particuliers, cet éclairement énergétique peut augmenter. Dans les systèmes optiques qui, en tant que tels, sont invariants de révolution, la variation n'est pas toujours invariante de révolution, par exemple, si les ouvertures limites ne sont pas invariantes de révolution.

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 13653:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019>



# Optique et photonique — Méthodes générales d'essai optique — Méthode de mesure de l'éclairement énergétique relatif dans le champ image

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes générales d'essai optique pour le mesurage de l'éclairement énergétique relatif dans le champ image.

Le présent document s'applique aux systèmes d'imagerie situés dans le domaine spectral optique allant de  $\lambda = 100$  nm à  $\lambda = 1$   $\mu$ m. Les réflexions théoriques et la comparaison avec le calcul ne doivent s'appliquer qu'aux systèmes optiques. Le présent document s'applique aux systèmes variants et invariants de révolution; les systèmes anamorphosés, par exemple, sont inclus.

Les systèmes afocaux sont également inclus. Le titre du présent document se rapporte à l'éclairement énergétique relatif dans un champ image; toutefois, le présent document s'applique également à une méthode permettant de déterminer le flux énergétique relatif.

NOTE Dans le cas des systèmes afocaux, il conviendra de n'indiquer que le flux énergétique; pour la plupart des systèmes d'imagerie, la conversion du flux énergétique en éclairement énergétique s'effectue facilement.

En ce qui concerne les mesurages, le présent document peut également s'appliquer aux systèmes électro-optiques.

Les deux méthodes mentionnées diffèrent, particulièrement en ce qui concerne l'influence de l'éblouissement.

## 2 Références normatives

ISO 13653:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9ead9ec8-b900-4609-ac32-f79d99f47187/iso-13653-2019>

Il n'y a pas de référence normative dans le présent document.

## 3 Termes et définitions

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

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

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

### 3.1

#### éclairement énergétique relatif

rapport du flux énergétique à la surface

Note 1 à l'article: Lorsque l'image d'un élément de surface d'un objet est formée, l'éclairement énergétique de l'image est fonction.

- de l'angle de champ espace-objet vu de la pupille  $\omega_p$ ;
- du flux énergétique provenant de l'élément de l'objet et passant par le système optique (et si possible par l'élément d'imagerie électro-optique);
- de la taille de l'élément de surface de l'image soumis au flux énergétique.

Note 2 à l'article: Le flux énergétique et la surface sont fonction de l'angle de champ espace-objet vu de la pupille  $\omega_p$  ou de la position de l'image ( $u', v'$ ).

Note 3 à l'article: L'éclairement énergétique relatif se rapporte à l'élément de surface axial.

**3.2**  
**angle de champ espace-objet vu de la pupille**

$\omega_p$   
angle formé par l'axe optique et la ligne joignant le centre de la pupille d'entrée et le point objet

**3.3**  
**angle de champ espace-image vu de la pupille**

$\omega'_{p'}$   
angle formé par l'axe optique et la ligne joignant le centre de la pupille de sortie et le point image

**4 Grandeurs, symboles et unités**

Voir le [Tableau 1](#).

**Tableau 1 — Grandeurs, symboles et unités**

Grandeur	Symbole	Unité
Éclairement énergétique relatif	$E_{rel}(\omega_p)$	%
Fonction de diminution naturelle de luminosité	$F_{nat}(\omega_p)$	
Fonction de la surface relative de la pupille	$F_p(\omega_p)$	
Fonction de vignetage	$F_{vig}(\omega_p)$	
Fonction de transmission relative	$F_T(\omega_p)$	
Fonction d'influence de la distorsion	$F_{ver}(\omega_p)$	
Distorsion relative	$V_r$	%
Coordonnées de l'image	$u'$	mm
	$v'$	mm
Hauteur de l'objet (unidimensionnelle)	$h$	mm
Hauteur de l'image (unidimensionnelle)	$h'$	mm
Angle de champ espace-objet vu de la pupille	$\omega_p$	radian, degré
Angle de champ espace-image vu de la pupille	$\omega'_{p'}$	radian, degré
Azimut de l'objet à mesurer	$\Phi$	radian, degré
Épaisseur de l'ouverture d'analyse	$t$	mm
Diamètre de l'ouverture d'analyse	$d$	mm

**5 Désignation**

Deux méthodes de mesure sont définies; la première comporte deux variantes. Elles sont différenciées par des symboles. Voir le [Tableau 2](#).

**Tableau 2 — Symboles relatifs aux méthodes de mesure**

Symbole	Méthode de mesure
A1	mesurage de l'éclairement énergétique relatif, pour une distance d'image finie
A2	mesurage de l'éclairement énergétique relatif, pour une distance d'image infinie
B	mesurage du flux énergétique relatif

EXEMPLE Désignation du mesurage de l'éclairement énergétique relatif conformément à la méthode de mesure A1:



## Mesurage de l'éclairement énergétique ISO 13653 – A1

### 6 Description des méthodes de mesure

#### 6.1 Facteurs d'influence de l'éclairement énergétique relatif

##### 6.1.1 Généralités

La dépendance angulaire de l'éclairement énergétique relatif est due à divers facteurs indépendants les uns des autres. Dans les diverses méthodes de mesure et de calcul, ces facteurs sont pris en compte de différentes manières. Il est donc important de connaître chaque facteur d'influence. Les dispositions énoncées de 6.1.2 à 6.1.7 se basent sur l'hypothèse selon laquelle la surface de l'objet émet un rayonnement conforme à la loi de Lambert et le système optique comporte une pupille d'entrée plane.

##### 6.1.2 Réduction naturelle de luminosité, $F_{\text{nat}} = \cos^4 \omega_p$ (loi $\cos^4$ )

La loi  $\cos^4$  doit toujours s'appliquer si la limite de la pupille est plane et perpendiculaire à l'axe, si l'ouverture de l'éprouvette est étroite et si la surface du détecteur est un plan perpendiculaire à l'axe.

##### 6.1.3 Surface relative de la pupille, $F_p(\omega_p)$

En raison des aberrations de pupille, la surface de la pupille d'entrée, en tant qu'image formée par la limite d'ouverture, est fonction de l'angle de champ de la pupille si les éléments du système optique sont disposés entre l'objet et la limite d'ouverture. La surface relative doit être fonction de la surface de la pupille pour  $\omega_p = 0$ .

##### 6.1.4 Vignelage, $F_{\text{vig}}(\omega_p)$

Si l'angle de champ de la pupille augmente, les bords situés devant et derrière la limite d'ouverture ainsi que les autres limites peuvent entraver (vigneter) l'ouverture.

##### 6.1.5 Influence de la transmission, $F_T(\omega_p)$

Toute modification de l'angle incident sur les surfaces des composants optiques (lentilles, prismes) peut entraîner un changement de réflectivité. La transmission nette peut être modifiée car les trajectoires dans le verre sont fonction de l'angle de champ de la pupille.

##### 6.1.6 Modification de la taille de l'élément de surface de l'image due à une distorsion

Pour l'échelle d'image  $\beta' = 0$

$$F_{\text{ver}}(\omega_p) = \frac{1}{\left(1 + \frac{V_r}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{V_r}{100} + \frac{\sin \omega_p \cdot \cos \omega_p}{100} \cdot \frac{dV_r}{d\omega_p}\right)}$$

pour une échelle d'image finie:

$$F_{\text{ver}}(h) = \frac{1}{\left(1 + \frac{V_r}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{V_r}{100} + \frac{h}{100} \cdot \frac{dV_r}{dh}\right)}$$

### 6.1.7 Éclairage énergétique relatif résultant

Pour l'éclairage énergétique relatif résultant dans le champ d'image, qui est fonction de l'angle de champ vu de la pupille, la formule suivante s'applique:

$$E_{\text{rel}}(\omega_p) = \cos^4 \omega_p \cdot F_p(\omega_p) \cdot F_{\text{vig}}(\omega_p) \cdot F_T(\omega_p) \cdot F_{\text{ver}}(\omega_p)$$

Les quatre premiers facteurs dépendent d'une modification de flux énergétique, tandis que la dernière valeur caractérise la variation de la taille de l'élément de surface de l'image.

Dans le cadre des mesurages relatifs à l'éclairage énergétique, le flux énergétique doit traverser le système optique dans le même sens que dans des conditions de mise en œuvre normale, car l'influence de la distorsion et de l'éblouissement est modifiée en cas d'inversion de la direction du faisceau.

## 6.2 Classification des méthodes de mesure

Deux méthodes différentes de mesure sont généralement acceptables: le mesurage de l'éclairage énergétique et le mesurage du flux énergétique.

Dans le cas des systèmes d'imagerie, la méthode relative aux mesurages de l'éclairage énergétique prend directement en compte les cinq facteurs de la formule mentionnée en 6.1.7, elle doit donc être utilisée de façon privilégiée.

La méthode de mesure du flux énergétique ne tient pas compte de l'effet de distorsion sur la taille de l'élément de surface de l'image. Si la valeur est connue, elle peut être prise en compte par calcul.

NOTE Pour des mesurages plus précis, il peut être nécessaire de tenir compte de la distorsion par calcul. Pour des mesurages de moindre précision, cela peut être négligé. Par exemple à  $\omega = 25^\circ$ ,  $V_r = 1\%$ , dépendance quadratique:  $F_{\text{ver}} = 0,961$ .

Le résultat du mesurage doit être multiplié par le facteur  $\cos^3 \omega_p$  afin d'obtenir, à partir du flux énergétique relatif, l'éclairage énergétique relatif.

En comparaison avec la méthode de mesure de l'éclairage énergétique, l'avantage de cette méthode est que le résultat n'est en général influencé que dans une moindre mesure par l'éblouissement.

Conformément au présent document, les systèmes afocaux ne doivent être mesurés qu'au moyen de la méthode de mesure du flux énergétique.

## 6.3 Brève description du mesurage de l'éclairage énergétique

L'éclairage énergétique relatif doit être déterminé comme fonction de la hauteur de l'image. Ce mesurage présuppose qu'il existe une surface rayonnant uniformément dans l'espace objet qui se comporte comme émetteur de Lambert et possède une luminance énergétique uniforme. Il n'est pas nécessaire cependant qu'elle se trouve sur la surface de l'objet, mais elle peut également être disposée directement devant la pupille d'entrée.

Une petite surface de référence comprenant un détecteur photoélectrique doit être déplacée de manière quantifiable dans le plan de l'image; l'éclairage énergétique doit être mesuré en unités arbitraires comme fonction de la hauteur d'image  $h'$ , et la valeur mesurée doit se rapporter à la valeur axiale (méthode A1, voir la [Figure 1](#)).

Dans les systèmes où la distance de l'image est infiniment grande (par exemple les systèmes optiques de projection), le diaphragme peut être disposé au foyer d'un système optique auxiliaire (optique de télescope), tourné de manière quantifiable devant la pupille de sortie de l'objet (méthode A2, voir la [Figure 2](#)). Il est nécessaire de s'assurer que l'éclairage énergétique mesuré par le détecteur de rayonnement est déterminé selon la loi  $\cos^4$ .