

---

---

**Lasers et équipements associés  
aux lasers — Méthodes d'essai des  
largeurs du faisceau, angles de  
divergence et facteurs de limite de  
diffraction —**

Partie 2:

**Faisceaux astigmatiques généraux**  
(standards.iteh.ai)

*Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam  
widths, divergence angles and beam propagation ratios —*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/281049-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021>  
**Part 2: General astigmatic beams**



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 11146-2:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810d9-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2021

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

E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)

Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Système de coordonnées</b> .....	<b>6</b>
<b>5 Principes d'essai</b> .....	<b>6</b>
5.1 Généralités.....	6
5.2 Moments spaciaux de second ordre de la distribution de Wigner.....	6
5.3 Moments de second ordre de la distribution de Wigner.....	6
5.4 Grandeurs dérivées.....	6
<b>6 Disposition de mesure et équipement d'essai</b> .....	<b>7</b>
6.1 Généralités.....	7
6.2 Préparation.....	7
6.3 Contrôle de l'environnement.....	7
6.4 Système de détection.....	7
6.5 Optique de formation du faisceau et atténuateurs optiques.....	8
<b>7 Mesurage des moments de second ordre</b> .....	<b>8</b>
7.1 Généralités.....	8
7.2 Mesurage des moments de second ordre des distributions de densité de puissance.....	8
7.3 Mesurage de tous les moments de second ordre de la distribution de Wigner.....	10
<b>8 Détermination du facteur de limite de diffraction effectif</b> .....	<b>12</b>
<b>9 Détermination de l'astigmatisme intrinsèque</b> .....	<b>12</b>
<b>10 Détermination du paramètre de torsion</b> .....	<b>13</b>
<b>11 Rapport d'essai</b> .....	<b>13</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>16</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 le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html).

Le présent document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 9, *Systèmes électro-optiques*, en collaboration avec le Comité Technique CEN/TC 123, *Lasers et photonique*, du Comité Européen de Normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 11146-2:2005), qui a fait l'objet d'une révision technique.

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

- Les termes et les définitions ont été harmonisés avec la nouvelle édition de l'ISO 11145;
- Les «axes principaux» ont été définis plus en détail et nommés  $x'$  et  $y'$ . Les grandeurs liées au système de coordonnées des axes principaux se réfèrent à cette définition et utilisent  $x'$  et  $y'$  dans leurs indices;
- Les exigences relatives au domaine d'intégration pour la détermination des moments du second ordre ont été assouplies.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 11146 est disponible sur le site Internet de l'ISO.

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/members.html](http://www.iso.org/members.html).

## Introduction

Les propriétés de limite de diffraction peuvent être caractérisées par dix paramètres indépendants en appliquant la méthode de moment de second ordre (voir l'ISO/TR 11146-3). La plupart des faisceaux lasers nécessite peu de paramètres pour une description complète du fait de leur plus haute symétrie. Les lasers émettent des faisceaux qui sont stigmatiques ou astigmatiques simple, par la conception même de leur résonateur.

L'ISO 11146-1 décrit les méthodes de mesure pour les faisceaux stigmatiques ou astigmatiques simples, tandis que le présent document traite des procédures de mesure pour les faisceaux astigmatiques en général. Le présent document s'applique aux faisceaux de type inconnu. La caractérisation du faisceau, basée sur la méthode des moments de second ordre décrite dans l'ISO 11146-1 et dans le présent document, n'est valide que dans l'approximation paraxiale.

La description théorique de la caractérisation et de la limite de diffraction aussi bien que la classification des faisceaux lasers sont données dans l'ISO/TR 11146-3, qui est un Rapport technique informatif. Les procédures de soustraction du bruit de fond et de correction de décalage sont aussi données dans l'ISO/TR 11146-3.

Dans l'ISO 11146, les moments de second ordre de la fonction de distribution de densité de puissance (énergie) sont utilisés pour déterminer les largeurs du faisceau. Des problèmes résultent du mesurage direct de cette propriété, d'autres méthodes indirectes de mesure de moment de second ordre peuvent être utilisées tant que des résultats comparables peuvent être obtenus.

Dans l'ISO/TR 11146-3, trois autres méthodes de mesure de largeur du faisceau ainsi que leur corrélation avec la méthode utilisée dans le présent document sont décrites. Ces méthodes sont:

- la méthode de l'ouverture variable;
- la méthode de la lame mobile; [ISO 11146-2:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810df9-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021)
- la méthode de la fente mobile. [95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810df9-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021)

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 11146-2:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810df9-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021>

# Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des largeurs du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction —

## Partie 2: Faisceaux astigmatiques généraux

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes pour le mesurage des largeurs (diamètres) du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction. Le présent document s'applique aux faisceaux astigmatiques généraux ou si le type de faisceau est inconnu. Pour les faisceaux stigmatiques et astigmatiques simples, l'ISO 11146-1 s'applique.

Au sein du présent document, la description des faisceaux laser est réalisée au moyen des moments de second ordre de la distribution de Wigner, plutôt que par des grandeurs physiques telles que les largeurs de faisceau et les angles de divergence. Toutefois, ces grandeurs physiques sont étroitement liées aux moments de second ordre de la distribution de Wigner. Dans l'ISO/TR 11146-3, des formules sont données pour calculer toutes les grandeurs physiques concernées à partir des moments de second ordre mesurés.

(standards.iteh.ai)

### 2 Références normatives

ISO 11146-2:2021

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 11145, *Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Vocabulaire et symboles*

ISO 11146-1, *Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai des largeurs du faisceau, angles de divergence et facteurs de limite de diffraction — Partie 1: Faisceaux stigmatiques et astigmatiques simples*

EN 61040:1992, *Détecteurs, instruments et matériels de mesurage de puissance et d'énergie des rayonnements laser*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 11145, l'ISO 11146-1, l'EN 61040, ainsi que les 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 <https://www.electropedia.org/>

Note Les axes  $x$ ,  $y$  et  $z$  dans les définitions suivantes se réfèrent au système du laboratoire (tel que décrit dans l'Article 4). Dans toute la suite du document, le terme «distribution de densité de puissance  $E(x,y,z)$ » se réfère à des sources d'ondes continues. Il peut être remplacé par «distribution de densité d'énergie  $H(x,y,z)$ » dans le cas de sources impulsionnelles.

**3.1 diamètre de faisceau généralisé**

$d_g$   
mesure de l'extension de la distribution de densité de puissance d'un faisceau dans une section, à une position axiale  $z$ , dérivée des moments de second ordre centrés par la relation

$$d_g = 2\sqrt{2} \sqrt{\langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle} \tag{1}$$

Note 1 à l'article: Cette définition est similaire à celle du diamètre de faisceau définie dans l'ISO 11145 ou dans l'ISO 11146-1. Mais dans ce contexte, la définition n'est pas restreinte aux distributions de densité de puissance circulaires.

**3.2 position généralisée du col du faisceau**

$z_{0,g}$   
position à laquelle le *diamètre de faisceau généralisé* (3.1) atteint sa valeur minimale le long de l'axe de propagation

**3.3 longueur de Rayleigh généralisée**

$z_{R,g}$   
distance, mesurée le long de l'axe du faisceau, depuis le col du faisceau généralisé jusqu'à où le diamètre de faisceau généralisé est  $\sqrt{2}$  fois plus grand que le diamètre du col du faisceau généralisé

**3.4 distribution de Wigner**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

distribution spatiale de phase représentant un faisceau laser dans un plan transversal à la position  $z$

Note 1 à l'article: La distribution de Wigner est une fonction de deux coordonnées spatiales et de deux coordonnées angulaires, donnant la quantité de puissance du faisceau se propageant par le point  $(x,y)$  dans la direction  $(\theta_x, \theta_y)$ .

ISO 11146-2:2021  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810db9-7bd9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021>

**3.5 moments de premier ordre spatial de la distribution de Wigner**

$\langle x \rangle, \langle y \rangle$   
sous-ensemble des moments de premier ordre, qui peuvent être directement obtenus à partir de la distribution de densité de puissance mesurée par

$$\langle x \rangle(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) x \, dx \, dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) \, dx \, dy} \tag{2}$$

et

$$\langle y \rangle(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) y \, dx \, dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) \, dx \, dy} \tag{3}$$

où  $E(x,y,z)$  est la distribution de densité de puissance au plan spécifique  $z = \text{constante}$



### 3.6

#### moments de second ordre de la distribution de Wigner

$$\langle x^2 \rangle, \langle y^2 \rangle, \langle xy \rangle, \langle \theta_x^2 \rangle, \langle \theta_y^2 \rangle, \langle \theta_x \theta_y \rangle, \langle x \theta_x \rangle, \langle x \theta_y \rangle, \langle y \theta_x \rangle, \langle y \theta_y \rangle$$

les dix moments de second ordre de la *distribution de Wigner* (3.4) du faisceau à la position  $z$

Note 1 à l'article: Les dix moments de second ordre contiennent des informations sur les propriétés physiques du faisceau suivantes: taille et orientation du faisceau, angles de divergences et leur orientation, rayons de courbure de la paraboloïde de phase et leur orientation et le paramètre de torsion. Des détails sur ces relations sont donnés dans ISO/TR 11146-3.

Note 2 à l'article: Dans l'ISO 11146-1, les trois moments spatiaux de second ordre sont définis comme étant  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$  et  $\sigma_{xy}^2$ . Dans le présent document et dans l'ISO/TR 11146-3, les parenthèses angulaires sont utilisées pour accentuer les coordonnées des moments. Cela signifie que  $\sigma_x^2 = \langle x^2 \rangle$ ,  $\sigma_y^2 = \langle y^2 \rangle$  et  $\sigma_{xy}^2 = \langle xy \rangle$ .

Note 3 à l'article: Les trois moments angulaires  $\langle \theta_x^2 \rangle$ ,  $\langle \theta_y^2 \rangle$  et  $\langle \theta_x \theta_y \rangle$  sont indépendants de  $z$ . Les sept autres moments de second ordre sont, en général, des fonctions de  $z$ .

### 3.7

#### moments spatiaux de second ordre de la distribution de Wigner

$$\langle x^2 \rangle, \langle y^2 \rangle, \langle xy \rangle$$

sous-ensemble des moments de second ordre, qui peuvent être directement obtenus à partir de la distribution de densité de puissance mesurée par

$$\langle x^2 \rangle (z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) (x - \langle x \rangle)^2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) dx dy} \quad (4)$$

$$\langle y^2 \rangle (z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) (y - \langle y \rangle)^2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) dx dy} \quad (5)$$

et

$$\langle xy \rangle (z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) (x - \langle x \rangle) (y - \langle y \rangle) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) dx dy} \quad (6)$$

### 3.8

#### matrice de faisceau

$P$

matrice 4×4 symétrique et définie positive contenant les dix *moments de second ordre de la distribution de Wigner* (3.6) et ses éléments, donnée par

$$P = \begin{bmatrix} \langle x^2 \rangle & \langle xy \rangle & \langle x\theta_x \rangle & \langle x\theta_y \rangle \\ \langle xy \rangle & \langle y^2 \rangle & \langle y\theta_x \rangle & \langle y\theta_y \rangle \\ \langle x\theta_x \rangle & \langle y\theta_x \rangle & \langle \theta_x^2 \rangle & \langle \theta_x\theta_y \rangle \\ \langle x\theta_y \rangle & \langle y\theta_y \rangle & \langle \theta_x\theta_y \rangle & \langle \theta_y^2 \rangle \end{bmatrix} \quad (7)$$

**3.9 facteur de limite de diffraction effectif**

$M_{\text{eff}}^2$

quantité invariante liée à la focalisation d'un faisceau astigmatique général, définie comme:

$$M_{\text{eff}}^2 = \frac{4\pi}{\lambda} [\det(P)]^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

où  $\det(P)$  est le déterminant de la matrice  $P$

Note 1 à l'article: Le facteur de limite de diffraction effectif,  $M_{\text{eff}}^2$  est un invariant lié au volume que le faisceau occupe dans l'espace de phase quadridimensionnel (deux dimensions spatiales latérales et deux dimensions angulaires latérales) et donc une mesure de la focalisabilité du faisceau.

Note 2 à l'article: Pour les faisceaux astigmatiques simples, le facteur de limite de diffraction effectif est la moyenne géométrique des facteurs de limite de diffraction effectif des axes principaux du faisceau:  $M_{\text{eff}}^2 = \sqrt{M_x^2 \times M_y^2}$ . Pour les faisceaux stigmatiques  $M_{\text{eff}}^2 = M^2$ .

**3.10**

ISO 11146-2:2021

**astigmatisme intrinsèque** <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2f810df9-7bf9-419c-ada5-95e781d0c2f1/iso-11146-2-2021>

$a$  degré indiquant à quel niveau de rapprochement d'un faisceau stigmatique, le faisceau astigmatique général peut être transformé en utilisant des lentilles et des espaces libres

$$a = \frac{8\pi^2}{\lambda^2} \left[ \left( \langle x^2 \rangle \langle \theta_x^2 \rangle - \langle x\theta_x \rangle^2 \right) + \left( \langle y^2 \rangle \langle \theta_y^2 \rangle - \langle y\theta_y \rangle^2 \right) + 2 \left( \langle xy \rangle \langle \theta_x\theta_y \rangle - \langle x\theta_y \rangle \langle y\theta_x \rangle \right) \right] - \left( M_{\text{eff}}^2 \right)^2 \geq 0 \quad (9)$$

Note 1 à l'article: Les faisceaux sont classés selon leur astigmatisme intrinsèque  $a$ , qui est une grandeur invariante. Un faisceau avec  $a = 0$  est appelé stigmatique intrinsèque, Un faisceau avec  $a > 0$  est appelé astigmatique intrinsèque. Pour les faisceaux astigmatiques simples  $a = (1/2)(M_x^2 - M_y^2)^2$ . Davantage de détails sont donnés dans l'ISO/TR 11146-3.

**3.11**

**paramètre de torsion**

$t$

paramètre lié aux propriétés de rotation du front de phase d'un faisceau et aussi à l'élan angulaire orbital porté par le faisceau

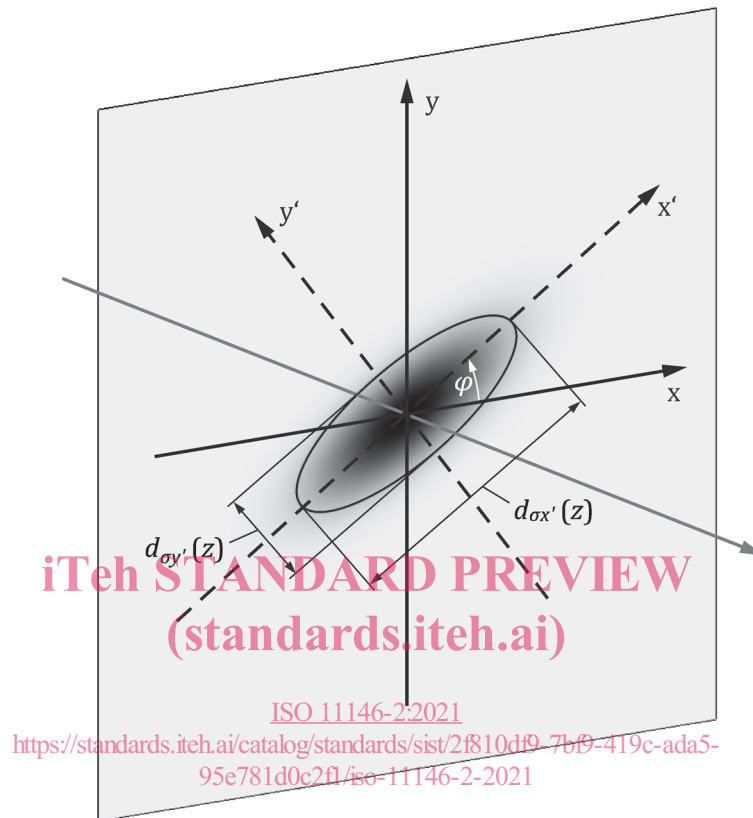
$$t = \langle x\theta_y \rangle - \langle y\theta_x \rangle \quad (10)$$

Note 1 à l'article: Le paramètre de torsion est invariant lors de la propagation à travers l'espace libre et les lentilles sphériques. Il pourrait être altéré lors de la propagation à travers des lentilles cylindriques.

### 3.12 axes principaux

$x', y'$

<distribution de densité de puissance> axes des extensions de faisceau minimale et maximale basés sur les moments de second ordre centrés de la distribution de densité de puissance dans une section droite du faisceau



**Figure 1 — Profil du faisceau avec les systèmes de coordonnées du laboratoire et des axes principaux**

Note 1 à l'article: Les axes des extensions minimale et maximale sont toujours perpendiculaires entre eux.

Note 2 à l'article: Sauf indication contraire, dans ce document,  $x'$  est l'axe principal le plus proche de l'axe  $x$  du système de coordonnées du laboratoire, et  $y'$  est l'axe principal le plus proche de l'axe  $y$  du système de coordonnées du laboratoire.

Note 3 à l'article: Si les axes principaux font un angle de  $\pi/4$  avec les axes  $x$  et  $y$  du système de coordonnées du laboratoire, l'axe  $x'$  est par convention la direction de l'extension maximale.

Note 4 à l'article: Voir [Figure 1](#).

[SOURCE: ISO 11146-1:2021, 3.3]

### 3.13 orientation azimutale

$\varphi$

<distribution de densité de puissance> angle azimutal entre l'axe  $x$  du système lié au laboratoire et l'axe principal  $x'$

[SOURCE: ISO 11146-1:2021, 3.4]