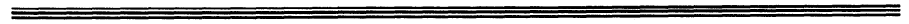


NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**9039**

Première édition  
1994-08-01



**Optique et instruments d'optique —  
Évaluation de la qualité des systèmes  
optiques — Détermination de la distorsion**

**iTeh STANDARD PREVIEW**

*Optics and optical instruments — Quality evaluation of optical  
systems — Determination of distortion*

ISO 9039:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1aeca8a1-fd84-44f5-a3e1-37aa748bf7a3/iso-9039-1994>



Numéro de référence  
ISO 9039:1994(F)

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 9039 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et instruments d'optique*, sous-comité SC 1, *Normes fondamentales*.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1acca8a1-fd84-44f5-a3e1-37aa748b17a5/iso-9039-1994>

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1994

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

Organisation internationale de normalisation  
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

## Introduction

Les systèmes optiques à symétrie de révolution ont généralement pour fonction de former une image qui est géométriquement semblable à l'objet, à l'exception de certains systèmes particuliers tels que les objectifs à très grand angle et les oculaires pour lesquels cette fonction est délibérément évitée. Idéalement, cette fonction s'obtient suivant la géométrie de projection en perspective. Tout écart par rapport à la géométrie idéale de l'image est appelé distorsion. La distorsion est une grandeur qui dépend de la position et qui a généralement un caractère vectoriel. Dans un plan image donné (qui peut également se situer à l'infini), ce vecteur, représentant la différence entre les positions théorique et réelle de l'image, a une composante radiale et une composante tangentielle. Dans les systèmes optiques, la composante tangentielle est fondamentalement conditionnée par une symétrie de révolution imparfaite. Les systèmes fabriqués conformément au niveau des connaissances actuelles présentent une distorsion tangentielle négligeable. Une composante tangentielle de cette distorsion apparaît toutefois sous forme d'aberration primaire dans le cas de systèmes électro-optiques à mise au point électromagnétique. La présente Norme internationale ne traite que de la distorsion radiale. Pour des systèmes spéciaux, certains systèmes électro-optiques par exemple, une extension pourra se révéler nécessaire pour inclure la représentation vectorielle.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cad229/iso-9039-1994>

Page blanche

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

ISO 9039:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1aeca8a1-fd84-44f5-a3e1-37aa748bf7a3/iso-9039-1994>

# Optique et instruments d'optique — Évaluation de la qualité des systèmes optiques — Détermination de la distorsion

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit des méthodes pour la détermination de la distorsion dans les systèmes optiques dans le but d'évaluation de la qualité.

Elle s'applique aux systèmes d'imagerie optique dans le domaine spectral optique de 100 nm à 15 000 nm qui, de par leur conception, visent à assurer une géométrie d'image à symétrie de révolution. Elle s'applique aux systèmes d'imagerie électro-optiques dans la mesure où une symétrie de révolution adéquate de l'image est garantie. Par conséquent, elle ne s'applique pas aux systèmes optiques anamorphoseurs ou aux systèmes à fibres optiques.

## 2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 9334:—<sup>1)</sup>, *Optique et instruments d'optique — Fonction de transfert optique — Définitions et relations mathématiques.*

1) À publier.

## 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

**3.1 distorsion:** Mesure de l'écart entre les points image extra-axiaux et les points image idéaux dans un plan donné qui est parallèle au plan de référence du système. Si le plan image est à l'infini, les positions de l'image sont données sous forme de tangentes des angles de champ.

**3.2 plan de référence:** Plan correspondant à un élément physique du dispositif en essai, utilisé pour l'alignement, par exemple bride de montage ou dispositif spécialement monté à cet effet.

**3.3 distorsion absolue,  $V_a$ :** Distance radiale entre le point image observé et le point image idéal, exprimée en millimètres ou en micromètres.

**3.4 distorsion relative,  $V_r$ :** Distance radiale entre le point image observé et le point image idéal, exprimée en pourcentage de la hauteur image idéale  $h'_0$ . Lorsque l'image est à l'infini, la distorsion relative est la différence entre les tangentes de l'angle de champ observé et l'angle de champ idéal, exprimée en pourcentage de la tangente de l'angle de champ idéal  $\omega'_0$ .

**3.5 hauteur objet,  $h$ :** Distance entre un point objet et l'axe de symétrie de révolution du spécimen en essai, exprimée en millimètres.

**3.6 hauteur image,  $h'$ :** Distance entre un point image et l'axe de symétrie de révolution du spécimen en essai, exprimée en millimètres.

**3.7 angle du champ objet pupillaire,  $\omega_p$ :** Valeur absolue, exprimée en radians ou en degrés, de l'angle entre l'axe de symétrie de révolution et la direction de propagation du rayonnement de l'objet vers la pupille d'entrée du spécimen en essai.

**3.8 angle du champ image pupillaire,  $\omega'_p$ :** Valeur absolue, exprimée en radians ou en degrés, de l'angle entre l'axe de symétrie de révolution et la direction de propagation du rayonnement de la pupille de sortie du spécimen en essai vers l'image.

**3.9 distance objet,  $a$ :** Distance entre le plan objet et le premier point principal, exprimée en millimètres.

**3.10 distance image,  $a'$ :** Distance entre le plan image et le second point principal, exprimée en millimètres.

**3.11 plan objet:** Plan parallèle au plan de référence contenant un point objet.

**3.12 plan image:** Plan parallèle au plan de référence contenant un point image.

**3.13 hauteur image idéale,  $h'_0$ :** Hauteur image sans distorsion, donnée par la géométrie de la projection en perspective, exprimée en millimètres.

**3.14 angle du champ image idéal,  $\omega'_0$ :** Angle du champ image sans distorsion, donné par la géométrie de la projection en perspective, exprimé en radians ou en degrés.

**3.15 grossissement,  $\Gamma$ :** Valeur limite de l'équation

$$\Gamma = \lim_{\omega_p \rightarrow 0} \frac{\tan \omega'_p}{\tan \omega_p}$$

**3.16 grandissement,  $m$ :** Valeur limite de l'équation

$$m = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h'}{h}$$

## 4 Classes d'application

### 4.1 Distance objet infinie, distance image finie

La grandeur de référence est la distance  $a'$  obtenue sous forme de valeur limite de l'équation

$$a' = \lim_{\omega_p \rightarrow 0} \frac{h'}{\tan \omega_p}$$

La distorsion absolue est

$$V_a = h' - a' \tan \omega_p$$

et la distorsion relative est

$$V_r = 100 \frac{h' - a' \tan \omega_p}{a' \tan \omega_p}$$

Pour l'imagerie télécentrique, la distance image  $a'$  est remplacée par la distance de la pupille télécentrique au premier point principal.

Si le foyer côté image se situe dans le plan image,  $a'$  est la distance focale équivalente. Pour les lentilles photogrammétriques, on utilise la distance focale étalonnée à la place de  $a'$  dans le calcul de la distorsion absolue  $V_a$ . La distance focale étalonnée est une valeur réglée choisie pour répartir la distorsion dans le champ image de manière spécifiée.

### 4.2 Distance objet infinie, distance image infinie

La grandeur de référence est le grossissement  $\Gamma$ .

La distorsion relative  $V_r$  est donnée par l'équation

$$V_r = 100 \frac{\frac{\tan \omega'_p}{\tan \omega_p} - \Gamma}{\Gamma}$$

### 4.3 Distance objet finie, distance image finie

La grandeur de référence est le grandissement  $m$ .

La distorsion absolue  $V_a$  est donnée par l'équation

$$V_a = h' - hm$$

et la distorsion relative  $V_r$ , par l'équation

$$V_r = 100 \frac{\frac{h'}{h} - m}{m}$$

### 4.4 Distance objet finie, distance image infinie

La grandeur de référence est la distance objet  $a$ , obtenue comme valeur limite de l'équation

$$a = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h}{\tan \omega'_p}$$

La distorsion relative  $V_r$  est donnée par l'équation

$$V_r = 100 \frac{a \tan \omega'_p - h}{h}$$

Pour l'imagerie télécentrique, la distance de la pupille télécentrique au second point principal remplace  $a$ .

## 5 Méthodes d'essai

### 5.1 Généralités

Pour déterminer la distorsion, il faut mesurer les paires de valeurs conjuguées des coordonnées côté objet et côté image. Pour le côté objet, les valeurs concernées sont l'angle de champ objet pupillaire,  $\omega_p$ , ou la hauteur objet,  $h$ , et pour le côté image, l'angle de champ image pupillaire,  $\omega'_p$ , ou la hauteur image,  $h'$ . Les expressions côté objet et côté image doivent s'entendre par référence à l'application pratique.

Lorsqu'on effectue les mesures, le sens du rayonnement devrait être du côté objet vers le côté image. Si, pour des raisons de commodité de la mesure, c'est le sens opposé qui est appliqué, il faut s'assurer que les aberrations du système optique à essayer n'ont aucune incidence sur l'exactitude de mesure.

Des réticules lumineux et une rangée de fentes lumineuses dont les écartements sont connus, ou bien une unique fente lumineuse dont le déplacement est mesurable, servent à représenter des positions objet à distance finie ou, dans le cas de rayonnement de sens contraire, des positions image à distance finie. Des collimateurs sont utilisés pour représenter des objets à distance infinie alors qu'on utilise des lentilles de télescope pour rendre mesurables des images à distance infinie (ou vice versa pour le sens de rayonnement opposé).

Pour mesurer les angles de champ objet pupillaire ou image pupillaire, un collimateur ou un télescope et le système optique à essayer (avec son plan image ou objet) sont déplacés l'un par rapport à l'autre de manière à pouvoir mesurer les angles. L'axe de rotation doit passer par le milieu de la pupille d'entrée ou de sortie du système à essayer de manière à couvrir la pleine ouverture de ce système, y compris dans le cas d'angles de champ plus grands.

Pour mesurer les hauteurs image ou objet finies, on a recours à des dispositifs de détection dont le déplacement est mesurable ou à des graduations placées dans le plan de mesure.

La distorsion est calculée à partir des valeurs mesurées, au moyen des formules données dans l'article 4.

NOTE 1 Dans le cas d'une mesure effectuée en sens inverse du sens nominal, il faut veiller à ne pas confondre les grandeurs côté image et côté objet, sinon, la distorsion serait de signe inverse.

## 5.2 Appareillage de mesure

### 5.2.1 Spécifications générales

Le montage de mesure doit être conçu de telle manière que le plan de référence du système optique à essayer et le plan objet ou le plan image puissent être alignés parallèlement l'un à l'autre. Dans le cas d'une distance objet ou image infinie, pour l'angle de champ  $\omega_p = 0$  ou  $\omega'_p = 0$ , le plan de référence du système à essayer doit être réglable perpendiculairement à la direction du rayonnement. Il est pratique d'utiliser un autocollimateur à la place du collimateur ou du télescope pour effectuer l'alignement.

Les instruments utilisés pour mesurer les angles de champ objet pupillaire et image pupillaire, et les hauteurs objet et image doivent être suffisamment précis pour que leur incidence sur les valeurs de distorsion calculées soit de 5 à 10 fois inférieure à la tolérance. Pour les systèmes optiques pour lesquels la distorsion permise est très faible, il peut ne pas être possible d'obtenir ce niveau de précision. Dans ce cas, la précision réelle doit être spécifiée dans le rapport d'essai.

La stabilité et la précision générales du montage de mesure, notamment en ce qui concerne les paliers à rotule, doivent être incluses dans l'estimation de l'erreur.

La caractéristique spectrale du montage de mesure doit être adaptée à l'application prévue du système optique à essayer.

Les caractéristiques de cohérence de l'éclairage de l'objet doivent correspondre à celles qui sont réellement utilisées pour le système optique à essayer.

Le montage de diaphragmes appropriés doit garantir les limitations des rayons qui correspondent à l'application pratique du système optique à essayer. Il convient d'accorder une attention particulière dans le cas de loupes et d'oculaires.

Les optiques lumineuses doivent être montées de telle sorte que les rayons principaux correspondent aux applications pratiques.

En cas de besoin, le diaphragme d'éclairage doit être adapté à l'application prévue pour le système optique à essayer.

Les optiques auxiliaires utilisées doivent être suffisamment bien corrigées pour ne pas fausser les valeurs mesurées. Leurs pupilles doivent être suffisamment grandes pour que les pupilles du système optique à essayer ne soient pas vignettées.

Il faudra s'assurer que, lors de la mesure, le plan image correspond aussi exactement que possible à celui de l'application pratique. L'application de critères donnés de focalisation peut être nécessaire à cette fin.

En cas d'exigences poussées en ce qui concerne l'exactitude de mesure, l'application de critères spécifiés pour l'établissement de la position de l'image peut être nécessaire.

## 5.2.2 Distance objet infinie, distance image finie

Le montage de mesure doit permettre de mesurer des paires de valeurs conjuguées de l'angle de champ objet pupillaire,  $\omega_p$  et de la hauteur image,  $h'$ .

### 5.2.2.1 Montage de l'appareil de prises de vues

L'objet est représenté par une marque dans le plan focal d'un collimateur, de préférence par une fente étroite éclairée par une lumière incohérente. Un dispositif dont le déplacement peut être mesuré est monté dans le plan image du système optique à essayer afin de détecter l'image. Il doit être possible de faire tourner l'un par rapport à l'autre d'une part le collimateur et d'autre part le système optique à essayer (le dispositif de détection étant monté dans son plan image) de telle sorte qu'il soit possible de mesurer l'angle de rotation. Peu importe de savoir quelle partie tourne et quelle partie reste fixe. L'axe de rotation est perpendiculaire au plan formé par l'axe de la hauteur image et l'axe optique du collimateur, et il passe approximativement par le milieu de la pupille d'entrée du système optique à essayer.

Pour mesurer l'angle du champ objet pupillaire, on peut utiliser une platine tournante avec une graduation angulaire ou un théodolite. La rotation peut être remplacée par une rangée de plusieurs collimateurs disposés selon différents angles.

Avant de commencer la mesure, le déplacement du détecteur d'image doit être aligné parallèlement au plan de référence du système optique en essai.

Le collimateur doit être aligné perpendiculairement au plan de référence. De cette manière, on obtient un point objet pour l'angle de champ objet pupillaire  $\omega_p = 0$ ; son image indique alors l'origine des coordonnées dans le plan image pour l'essai.

Étant donné que pour ce réglage de base un télescope à autocollimation est nécessaire, il est utile de concevoir le collimateur de façon à être utilisé

comme autocollimateur. Le dispositif de détection peut être un microscope pourvu d'un repère de visée dans le plan de l'image intermédiaire ou d'une fente étroite derrière laquelle est monté un détecteur photoélectrique. Dans les cas les moins critiques, il pourra suffire d'installer une platine pourvue d'une échelle graduée [voir figure 1 a)].

Il est également possible de monter une plaque d'essai photographique dans le plan image et de mesurer les hauteurs image sur la plaque photographique développée [voir figure 1 b)]. Pour garantir la stabilité dimensionnelle nécessaire, on utilisera de préférence des plaques de verre. Les déplacements de la position de l'image dus à l'incidence des produits chimiques lors du développement doivent rester minimes et se situer dans les limites d'exactitude prévues.

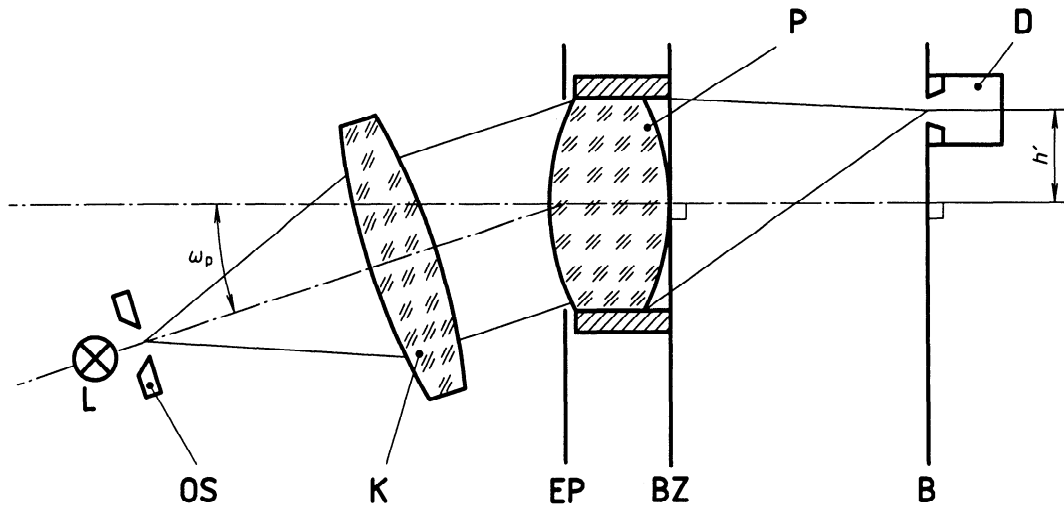
Lorsque le rayonnement est dirigé de l'image vers l'espace objet, un réticule lumineux pourvu des repères appropriés, une rangée de fentes lumineuses ou une seule fente lumineuse dont le déplacement est mesurable, est monté dans le plan image du système optique à essayer, à la place du dispositif de détection. Les optiques auxiliaires pourvues d'un dispositif de détection dans le plan focal (téléscope avec repère de visée dans le plan image intermédiaire, par exemple) remplacent le collimateur. Pour faciliter le réglage de base il est souhaitable d'utiliser un télescope avec autocollimation (voir figure 2).

### 5.2.2.2 Méthode du banc à lentille nodale coulissante

L'objet est représenté par une marque dans le plan focal du collimateur, de préférence par une fente étroite éclairée par une lumière incohérente. L'ouverture du collimateur doit être suffisamment grande pour remplir l'ouverture du système à essayer sous tous les angles de champ. Le système optique à essayer est monté sur une platine tournante de manière à pouvoir tourner autour d'un axe vertical. Pour  $\omega_p = 0$ , le plan de référence du système à essayer est perpendiculaire au collimateur. Il doit être possible de déplacer le système optique à essayer de telle sorte que l'axe de rotation passe par le second point principal de ce système. Dans le plan image, on monte un dispositif de détection de l'image, par exemple un microscope pourvu d'un repère de visée dans le plan image intermédiaire (voir figure 3).

L'axe de rotation est ajusté de manière à passer par le second point principal de sorte que, pendant la rotation du système optique sur de petits angles, l'image reste fixe.

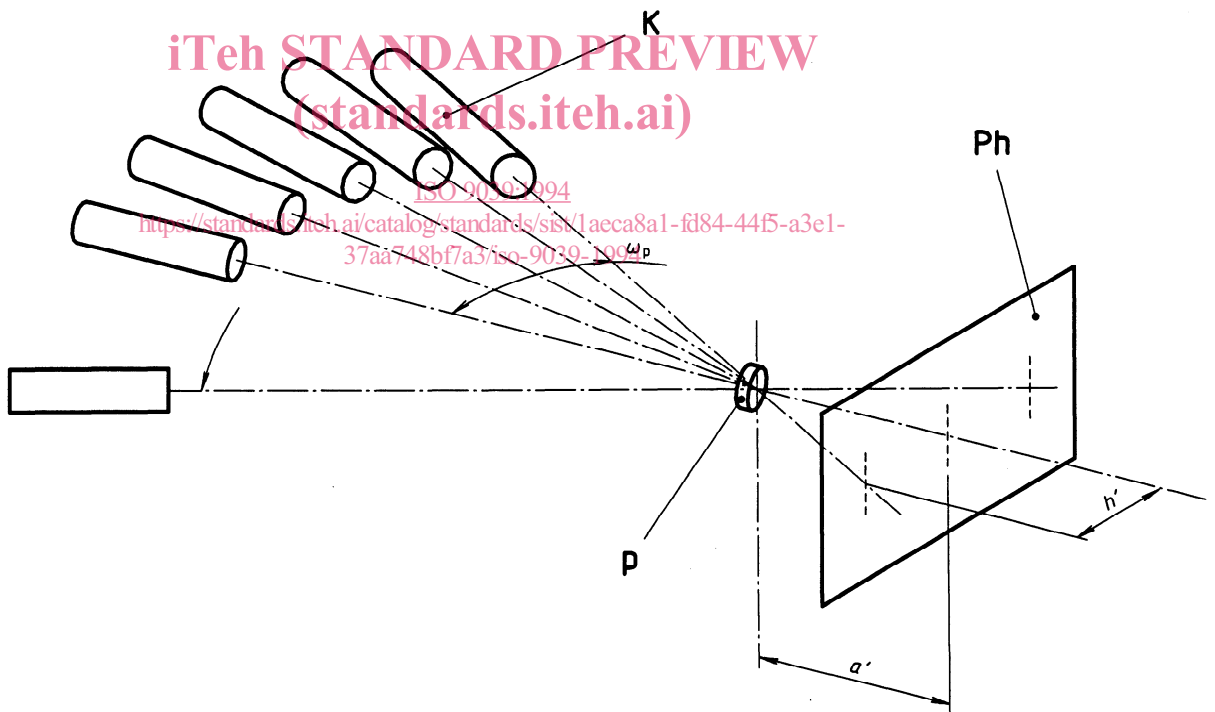




**Légende**

- |            |                                 |      |  |
|------------|---------------------------------|------|--|
| L          | Système d'éclairage             | BZ   | Plan de référence du système optique à essayer |
| OS         | Fente objet                     | P    | Système optique à essayer                      |
| $\omega_p$ | Angle du champ objet pupillaire | B    | Plan image                                     |
| K          | Collimateur                     | D    | Dispositif de détection                        |
| EP         | Pupille d'entrée                | $h'$ | Hauteur image                                  |

**a) Montage de l'appareil de prises de vues**

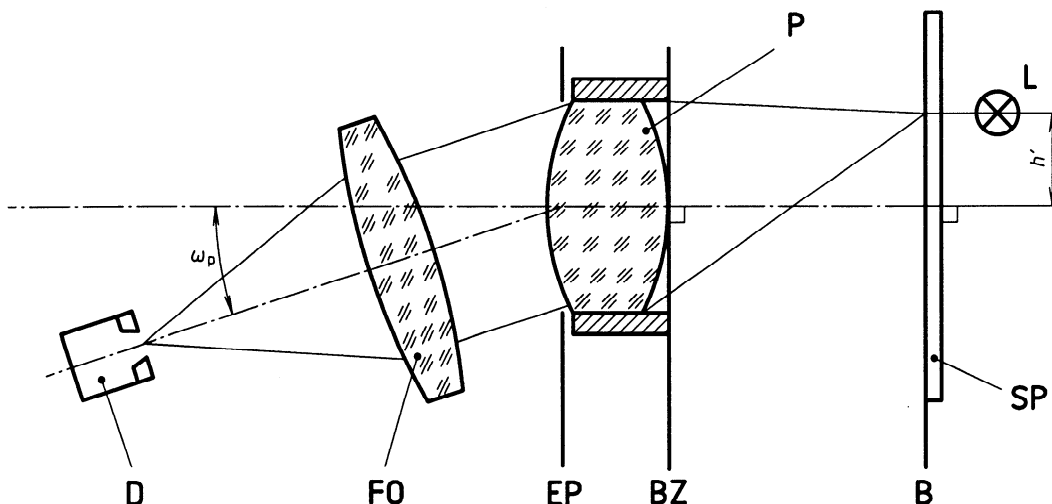


**Légende**

- |      |   |            |                                 |
|------|---|------------|---------------------------------|
| K    | Collimateurs  | $\omega_p$ | Angle du champ objet pupillaire |
| P    | Système optique à essayer   | Ph         | Plaque photographique           |
| $a'$ | Distance entre la plaque photographique et le point principal arrière | $h'$       | Hauteur image                   |

**b) Exemple de montage d'essai photographique**

**Figure 1 — Montage de l'appareillage**

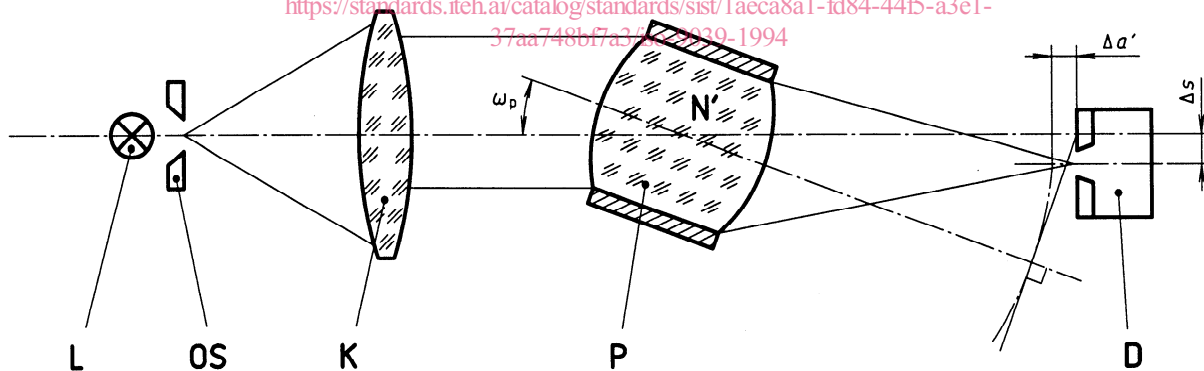


**Légende**

- |            |                                 |      |  |
|------------|---------------------------------|------|--|
| D          | Dispositif de détection         | BZ   | Plan de référence du système optique à essayer |
| $\omega_p$ | Angle du champ objet pupillaire | P    | Système optique à essayer                      |
| FO         | Lentille du télescope           | B    | Plan imagé                                     |
| EP         | Pupille d'entrée                | SP   | Réticule                                       |
| L          | Système d'éclairage             | $h'$ | Hauteur image                                  |

**Figure 2 — Montage de l'appareil de prises de vues avec rayonnement de sens opposé**  
(standards.iteh.ai)

ISO 9039:1994  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1aeca8a1-fd84-44f5-a3e1-37aa748bf7a3/iso-9039-1994>



**Légende**

- |            |                                 |             |   |
|------------|---------------------------------|-------------|---|
| L          | Système d'éclairage             | N'          | Point principal arrière postérieur du système optique à essayer |
| OS         | Fente objet                     | D           | Dispositif de détection   |
| K          | Collimateur                     | $\Delta s$  | Distance de déplacement   |
| $\omega_p$ | Angle du champ objet pupillaire | $\Delta a'$ | Distance de refocalisation                                      |
| P          | Système optique à essayer       |             |   |

**Figure 3 — Montage pour la méthode du banc à lentille nodale coulissante**

Pour mesurer la distorsion, déplacer le système optique à mesurer selon l'angle  $\omega_p$ . Le dispositif de détection doit être refocalisé de la valeur

$$\Delta a' = \frac{a'(1 - \cos \omega_p)}{\cos \omega_p}$$

(sans le système optique à essayer).

Pour rendre possible la refocalisation,  $a'$  doit être connue avec une précision suffisante. La refocalisation est inutile lorsque l'appareillage de mesure comporte une barre aplanétique. Déplacer le dispositif de détection perpendiculairement à l'axe du collimateur jusqu'à la position de l'image. À partir de la distance de déplacement,  $\Delta s$ , on obtient la valeur  $V_a$  selon l'équation

$$V_a = \frac{\Delta s}{\cos \omega_p}$$

Il faut respecter le signe positif ou négatif.

**5.2.3 Distance objet infinie, distance image infinie**

Le montage de mesure doit permettre de mesurer les paires de valeurs conjuguées de l'angle de champ objet pupillaire,  $\omega_p$ , et de l'angle de champ image pupillaire,  $\omega'_p$ .

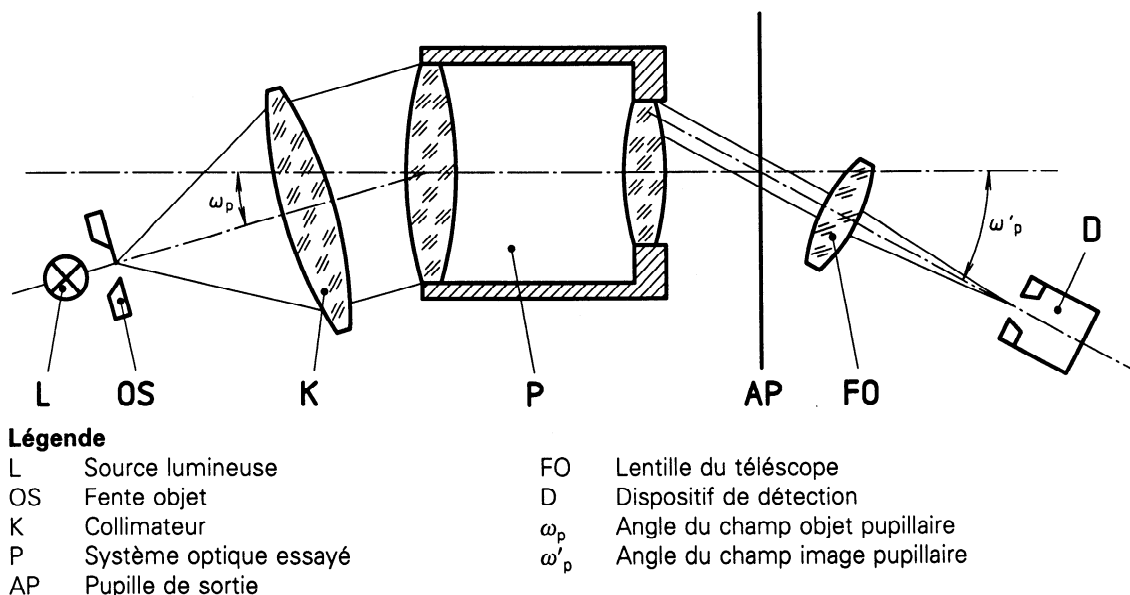
Le montage de mesure est similaire à celui qui est décrit en 5.2.2.1. Le dispositif de détection mobile dans le plan image est remplacé par une lentille de télescope qui peut tourner autour de la pupille de sortie du système optique à essayer et par un dispositif de détection placé dans son plan focal. À cet effet, on peut utiliser un télescope pourvu d'un repère de visée dans le plan image intermédiaire ou une lentille de télescope avec, dans son plan focal, une fente étroite derrière laquelle est monté un détecteur photoélectrique.

Pour le réglage de base, il faut d'abord aligner l'appareillage de mesure selon les angles  $\omega_p = 0$  et  $\omega'_p = 0$  sans le système optique à essayer. Placer ensuite le système optique à essayer dans l'appareillage de mesure et le régler de sorte que l'image du repère objet apparaisse au même endroit dans le dispositif de détection.

L'axe de rotation entre le système optique à essayer et la lentille du télescope doit être aligné parallèlement à l'axe de rotation entre le collimateur et le système optique à essayer. Peu importe la pièce du montage de mesure qui est fixe ou déplacée. Les deux angles de déplacement doivent être mesurables (voir figure 4).

**5.2.4 Distance objet finie, distance image finie**

Le montage de mesure doit permettre de mesurer les paires de valeurs conjuguées de la hauteur objet  $h$  et de la hauteur image  $h'$ .



**Figure 4 — Montage pour la mesure de la distorsion d'un système afocal**