

---

**Optique et instruments d'optique —  
Exactitude du mesurage de la fonction de  
transfert optique (OTF)**

*Optics and optical instruments — Accuracy of optical transfer function  
(OTF) measurement*

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

ISO 11421:1997

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b27e9ab0-c010-4052-88fd-28662f8a623b/iso-11421-1997>



**Sommaire**

**Page**

1	Domaine d'application.....	1
2	Référence normative.....	1
3	Définitions et symboles.....	1
4	Sources d'inexactitude du matériel de mesurage.....	3
5	Méthodes d'évaluation des niveaux de précision.....	11
6	Calcul de l'exactitude générale d'un mesurage.....	19
7	Spécification de la précision générale d'un équipement.....	21
8	Évaluation périodique des performances.....	23

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

**Annexes**

ISO 11421:1997

A	Exactitude de mesurage de la MTF.....	24
B	Détermination du taux de variation de la MTF avec différents paramètres.....	26
C	Exemple de calcul de NAV.....	28
D	Bibliographie.....	32

iteh.ai/catalog/standards/cist/b27c9ab0-10-4052-88fd-28662f8a623b/iso-11421-1997

© ISO 1997

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  
Internet central@iso.ch  
X.400 c=ch; a=400net; p=iso; o=isocs; s=central

Imprimé en Suisse

## 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 11421 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/b27e9ab0-c010-4052-88fd-286216a62310/iso-11421-1997>

L'annexe A fait partie intégrante de la présente Norme internationale.

Les annexes B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

## Introduction

La fonction de transfert optique (OTF) est l'un des critères principaux utilisés pour évaluer de manière objective les capacités de formation d'image de systèmes optiques, électro-optiques et photographiques.

Les définitions des termes utilisés pour le mesurage de l'OTF sont données dans l'ISO 9334, tandis que l'ISO 9335 traite des véritables principes et techniques de mesurage. Une autre Norme internationale, l'ISO 9336, traite des applications spécifiques dans différents domaines optiques et électro-optiques ; elle comporte plusieurs parties, chacune traitant d'une application particulière.

Bien que l'ISO 9335 établisse la liste des principaux facteurs influant sur la précision d'un mesurage de l'OTF et décrive les procédures visant à obtenir des résultats précis de façon répétitive, elle ne traite pas dans le détail les techniques et modes opératoires permettant d'évaluer la précision d'équipements de mesurage de l'OTF et d'estimer l'incertitude des mesurages effectués sur des systèmes particuliers de formation d'image.

La présente Norme internationale établit la liste des principales sources d'inexactitude d'un équipement de mesurage OTF et sert de guide sur la manière dont elles peuvent être évaluées et dont les résultats de ces évaluations peuvent être utilisés afin d'évaluer la bande de dispersion d'erreur de tout mesurage d'une fonction de transfert optique. La présente Norme internationale a notamment été élaborée pour favoriser l'établissement de niveaux d'incertitude plus réalistes concernant les résultats de mesurages de l'OTF. L'autre objectif visé est de favoriser l'utilisation de méthodes qui expriment la précision de matériels d'essai de l'OTF en admettant que la précision d'un mesurage particulier dépend à la fois du matériel et de l'éprouvette.

# Optique et instruments d'optique — Exactitude du mesurage de la fonction de transfert optique (OTF)

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale donne des indications générales sur l'évaluation des sources d'erreur dans un matériel de fonction de transfert optique ainsi que sur l'utilisation de cette information afin d'estimer les erreurs de mesurage de l'OTF. Elle donne également des indications sur l'appréciation et la spécification d'un schéma de précision générale d'un matériel de mesurage spécifique, ainsi que des méthodes de recommandation d'une évaluation de routine.

Le corps principal de la présente Norme internationale traite exclusivement de la partie fonction de transfert de modulation (MTF) de l'OTF. La fonction de transfert de phase (PTF) est traitée assez brièvement dans l'annexe A.

## 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 9334:1995, *Optique et instruments d'optique - Fonction de transfert optique - Définitions et relations mathématiques*.

## 3 Définitions et symboles

### 3.1 Définitions

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

#### 3.1.1 lentille étalon

lentille à élément(s) unique ou multiples construite avec un niveau de précision suffisant pour garantir que la MTF sera, dans des conditions de mesurage indiquées précisément, égale à ce qui avait été prévu à partir de calculs théoriques, avec une précision supérieure à 0,05 (en unités MTF)

NOTE Pour obtenir ce niveau de précision, les lentilles étalons sont généralement de conception simple, présentant ainsi des performances limitées. Un exemple de lentille largement répandue est la lentille plano-convexe d'une longueur focale de 50 mm, décrite dans la référence [3]. Elle est disponible dans le commerce, comme le sont bon nombre d'autres lentilles étalons (y compris des systèmes afocaux et lentilles fonctionnant dans les gammes de longueur d'onde du domaine infrarouge).

#### 3.1.2 lentille de contrôle

lentille à élément(s) unique ou multiples, de construction stable, avec une précision de construction insuffisante pour permettre d'effectuer un calcul théorique de la MTF à partir des données de conception (ce qui résulte généralement de la complexité de la lentille), mais pour laquelle les valeurs de la MTF "acceptées" dans des

conditions de mesurage définies avec précision ont été obtenues à partir de mesurages effectués par une autorité compétente (de préférence un laboratoire national d'étalonnage, si un tel service est disponible).

### 3.2 Symboles

Symbole	Paramètre	Unité
$h$	hauteur objet	mm, mrad, degré
$h'$	hauteur sur image	mm, mrad, degré
$\Delta h'$	erreur sur la hauteur image	mm, mrad, degré
$l$	plan conjugué objet	mm
$l'$	plan conjugué image	mm
$\Delta l'$	erreur sur la distance de l'image	mm
$\Delta z$	écart de rectitude du glissement d'objet	mm
$\Delta z'$	écart de rectitude du glissement d'image	mm
$\Delta a$	écart angulaire du glissement d'objet par rapport à la perpendiculaire à un axe de référence	rad.
$\Delta a'$	écart angulaire du glissement d'image par rapport à la perpendiculaire à un axe de référence	rad.
$\Delta Z$	déviations totale par rapport au plan objet idéal	mm
$\Delta Z'$	déviations totale par rapport au plan image idéal	mm
$M$	grossissement	sans dimension
$r$	fréquence spatiale	mm <sup>-1</sup> , mrad <sup>-1</sup> , degré <sup>-1</sup>
$\Delta r$	erreur sur la fréquence spatiale	mm <sup>-1</sup> , mrad <sup>-1</sup> , degré <sup>-1</sup>
$m(r, h)$	taux de variation de la MTF avec focalisation de l'objet (pour un intensificateur d'image et des systèmes similaires)	mm <sup>-1</sup>
$m'(r, h')$	taux de variation de la MTF avec focalisation de l'image	mm <sup>-1</sup>
ou $m'(r, \omega)$		
$p'(r, h')$	taux de variation de la MTF avec hauteur de l'image	mm <sup>-1</sup> , mrad <sup>-1</sup> , degré <sup>-1</sup>
ou $p'(r, \omega)$		
$q'(r, h')$	taux de variation de la MTF avec distance de l'image	mm <sup>-1</sup>
$\omega$	angle de champ	mrad, degré
$\Delta \omega$	erreur sur l'angle de champ	mrad, degré
$f$	longueur focale	mm
$\psi$	angle d'azimut	degré
$\Delta \psi$	erreur sur l'angle d'azimut entre les fentes	degré
$R$	(longueur focale de lentille d'essai)/(longueur focale de collimateur), ou (longueur focale de décollimateur)/(longueur focale de collimateur)	sans dimension
$g'$	largeur de fente se rapportant au plan d'image	mm
$L'$	longueur de la fente la plus courte se rapportant au plan d'image	mm
$MTF_c$	MTF de lentille relais	sans dimension
$r_0$	fréquence spatiale pour angle de champ à zéro	mm <sup>-1</sup> , mrad <sup>-1</sup> , degré <sup>-1</sup>
$n'(r, h')$	taux de variation de la MTF avec fréquence spatiale	mm, mrad, degré
$\Delta MTF(r)$	erreur sur la MTF	sans dimension
$\Delta MTF_c(r)$	erreur de MTF de lentille relais	sans dimension
$\Delta MTF_n$	erreurs de MTF résultant d'erreur d'écart normal de la lentille relais	sans dimension
$\Delta l$	erreur de réglage du foyer du collimateur	mm
$\Delta MTF$ (aléatoire)	erreur totale sur la MTF à partir de sources aléatoires	sans dimension
$\Delta MTF$ (systématique)	erreur totale sur la MTF à partir de sources systématiques	sans dimension
$\Delta MTF$ (total)	erreur totale sur la MTF à partir de toutes les sources	sans dimension
$\Delta MTF$ (aléa.) <sub>n</sub>	erreur sur la MTF à partir de la Nième source d'erreurs aléatoires	sans dimension
$\Delta MTF$ (syst.) <sub>n</sub>	erreur sur la MTF à partir de la Nième source d'erreurs systématiques	sans dimension

NOTE La notation sous la forme  $m(r, h)$ ,  $m'(r, h')$ ,  $p'(r, h')$ , etc. dénote le fait que ces paramètres sont fonction à la fois de la fréquence spatiale  $r$  et de la hauteur d'image  $h'$  ou  $h$  (c'est-à-dire que la valeur du paramètre différera en fonction des fréquence et des hauteurs d'image).

## 4 Sources d'inexactitude du matériel de mesurage

Les principales sources d'inexactitude du matériel de mesure de l'OTF sont indiquées dans le présent article et leurs effets sur le mesurage d'une MTF font l'objet d'une description (de brefs commentaires sur le mesurage de la PTF figureront à l'annexe A).

### 4.1 Géométrie d'un système de banc optique

La fonction d'un banc optique consiste à fournir un moyen de support de l' "ensemble source - mire-objet", du "dispositif mesuré" et de l' "analyseur d'image" en une relation géométrique correcte (c'est-à-dire définie par la "fonction d'imagerie" choisie - voir ISO 9334). Ceci s'obtient en s'appuyant sur des éléments tels que la rectitude des glissières, leur parallélisme les unes par rapport aux autres et/ou par rapport à la surface de référence des dispositifs mesurés, la précision des échelles d'angle, etc. Les écarts par rapport à la géométrie désirée se traduiront par des écarts par rapport à la "fonction d'imagerie" idéale et ainsi par des erreurs au niveau de l'OTF mesurée. Les paramètres importants des bancs dépendent des dispositions d'essai utilisées (à noter que, pour des dispositions relatives aux bancs telles que les "bancs à glissière nodale" non traités par la présente Norme internationale, l'utilisateur doit procéder lui-même à ses propres estimations d'erreurs). En ce qui concerne les dispositions recommandées par l'ISO 9335, les principales sources d'inexactitude et les erreurs de MTF résultantes sont les suivantes.

#### 4.1.1 Plans conjugués objet et image à distance finie

L'ensemble source - mire-objet et les glissières de l'analyseur d'image doivent être rectilignes et perpendiculaires à l' "axe de référence".

Les écarts de rectitude et de perpendicularité par rapport à un plan focal idéal seront à l'origine des écarts suivants :

$$\Delta Z(h) = \Delta z(h) + h \cdot \Delta a$$

ISO 11421:1997  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b27e9ab0-c010-4052-88fd-28662f8a623b/iso-11421-1997>

pour l'ensemble source - mire-objet, et

$$\Delta Z'(h') = \Delta z'(h') + h' \cdot \Delta a'$$

pour l'analyseur d'image,  $h$  et  $h'$  étant les hauteurs image et objet,  $\Delta z$  et  $\Delta z'$  étant les écarts de rectitude et  $\Delta a$  et  $\Delta a'$  les écarts angulaires (en radians) de perpendicularité à l'axe de référence, pour l'ensemble source - mire-objet et les glissières de l'analyseur d'image, respectivement.

L'effet combiné est obtenu par :

$$\Delta Z'(h')_{\text{total}} = \Delta Z'(h') + M^2 \cdot \Delta Z\left(\frac{h'}{M}\right)$$

où  $M = \left(\frac{h'}{h}\right)$  est le grossissement.

Si  $m'(r, h')$  est le taux de variation de  $MTF(r)$  avec mise au point, l'erreur dans la MTF est obtenue par :

$$\Delta MTF(r) = m'(r, h') \cdot \Delta Z'(h')_{\text{total}}$$

Deux éventuelles sources d'erreur supplémentaires sont le degré de précision avec lequel sont établis la hauteur image  $h'$  et les distances de l'objet et/ou de l'image. L'erreur sur la MTF provient, dans ce cas, (en supposant que les paramètres établis sont la hauteur et la distance de l'image) de :

$$\Delta MTF(r) = p'(r, h') \cdot \Delta h' + q'(r, h') \cdot \Delta l'$$

$\Delta h'$  et  $\Delta l'$  étant les erreurs de hauteur et de distance d'image, respectivement,  $p'$  et  $q'$  étant les taux de variation correspondants de la MTF. En principe,  $p'$  et  $q'$  sont petits et cette source d'erreur peut être ignorée (erreurs qui seront inférieures à 0,01, en unités MTF).

#### 4.1.2 Plans conjugués objet à distance infinie et image à distance finie

Des considérations similaires à celles énoncées en 4.1.1 s'appliquent, excepté qu'il y a une seule glissière. Les écarts du plan focal idéal sont obtenues dans cet exemple par :

$$\Delta Z'(h')_{\text{total}} = \Delta z'(h') + h' \cdot \Delta a'$$

l'erreur correspondante dans la MTF étant à nouveau donnée par :

$$\Delta \text{MTF}(r) = m'(r, h') \cdot \Delta Z'(h')_{\text{total}}$$

Des erreurs peuvent également survenir lors du réglage de la hauteur image ou de l'angle de champ (en fonction de celui qui a servi à définir la fonction d'imagerie) et du réglage de la distance d'objet à l'infini. Les erreurs de MTF sont indiquées comme précédemment :

$$\Delta \text{MTF}(r) = p'(r, h') \cdot \Delta h' + q'(r, h') \cdot \Delta l'$$

ou si l'angle de champ est indiqué à la place de la hauteur image :

$$\Delta \text{MTF}(r) = p'(r, \omega) \cdot \Delta \omega + q'(r, h') \cdot \Delta l'$$

Dans les équations ci-dessus,  $h'$ ,  $\Delta l'$ ,  $p'$  et  $q'$  sont tels que définis en 4.1.1 ;  $\omega$  étant l'angle de champ et  $\Delta \omega$  l'erreur dans l'angle de champ. La valeur de  $\Delta l'$  doit être déterminée en fonction de l'écart connu du plan conjugué objet à partir de l'infini. L'équation correspondante est :

$$\Delta l' = \frac{f^2}{l}$$

$f$  étant la longueur focale de la lentille et  $l$  le plan conjugué objet réel.

Les erreurs sur la MTF provenant de ces deux dernières sources sont généralement minimales et donc négligeables, excepté en cas d'utilisation d'un très long plan conjugué objet à la place d'un collimateur, en supposant qu'il procure une approximation suffisamment fine d'un plan conjugué à distance infinie.

#### 4.1.3 Plans conjugués objet et image à distance infinie

Avec les dispositions relatives à un banc qui sont recommandées pour ce type de mesure (voir ISO 9335), il convient de ne pas modifier la séparation entre l'analyseur d'image et le décollimateur lorsque l'angle d'image varie. Ainsi, aucune erreur de MTF résultant d'un changement de réglage du foyer avec l'angle d'image (ou angle de champ) ne se produit.

Si les dispositions relatives à un banc sont utilisées lorsque cette erreur est susceptible de se produire, ou si la séparation du décollimateur et de l'analyseur d'image peut être modifiée en résultat de la flexion mécanique de la glissière focale les supportant, il pourra en résulter une erreur dans la MTF, avec :

$$\Delta \text{MTF}(r) = m'(r, \omega) \cdot \Delta z'(\omega)$$

$\Delta z'(\omega)$  étant l'erreur mécanique et  $m'(r, \omega)$  étant le taux de variation de MTF avec la mise au point.



D'autres sources d'erreur émanent des inexactitudes de réglage de l'angle de champ et de la distance de l'objet à l'infini. Les erreurs de MTF résultantes sont obtenues à partir des équations correspondantes données en 4.1.2, c'est-à-dire:

$$\Delta \text{MTF}(r) = p'(r, \omega) \cdot \Delta \omega + q'(r, h') \cdot \Delta l'$$

avec, comme précédemment

$$\Delta l' = \frac{f^2}{l}$$

#### 4.1.4 Intensificateurs d'image et autres systèmes comportant des surfaces d'objet et/ou d'image définies physiquement

Lors des essais de ce type de système, une des techniques consiste à refocaliser la mire-objet sur le plan objet et/ou le plan image sur l'analyseur d'image, pour chaque position d'essai dans le plan image/objet. Cette technique élimine les erreurs de mise au point provoquées par les erreurs des bancs mécaniques. La seule autre source d'erreur provient d'un mauvais réglage des positions d'essai spécifiées au niveau des surfaces d'objet ou d'image. Les erreurs de MTF résultantes sont généralement négligeables ; comme en 4.1.1, elles sont données par la formule suivante :

$$\Delta \text{MTF}(r) = p'(r, h') \cdot \Delta h'$$

Lorsqu'une technique d'essai est utilisée sans refocalisation suite à une modification de la position de l'objet/image et la confiance placée dans l'ensemble source - mire-objet, les glissières de l'analyseur d'image étant rectilignes et parallèles à leurs surfaces objet/image respectives, les erreurs de MTF sont alors données par :

$$\Delta \text{MTF}(r) = m(r, h)[\Delta z(h) + h \cdot \Delta a] + m'(r, h')[\Delta z'(h') + h' \cdot \Delta a']$$

ISO 11421:1997

#### 4.1.5 Montage de l'éprouvette

L'éprouvette ne se trouve pas forcément exactement à l'endroit prévu de la monture à laquelle il est rattaché à l'équipement. Ceci occasionnera une certaine fluctuation des résultats d'une série de mesurage lorsque les éprouvettes auront été retirées et remontées sur l'équipement entre deux mesurages. L'effet majeur sera probablement un léger basculement du plan de l'image. Son effet sur la MTF mesurée, pouvant être très significatif, sera donné par les mêmes équations que pour les erreurs angulaires dans les glissières (voir 4.1.1).

## 4.2 Changement d'azimut

Avec la plupart des équipements OTF, un changement de mesurage de l'azimut est réalisé en procédant à une rotation de l'ensemble source - mire-objet et de l'analyseur d'image. Cette rotation peut occasionner un déplacement de l'ensemble source - mire-objet et/ou de l'analyseur d'image dans le sens de l'axe de rotation. Ceci engendrera une modification de la mise au point, qui s'exprimera ainsi :

$$\Delta z(\psi) \text{ et } \Delta z'(\psi)$$

pour l'ensemble source - mire-objet et l'analyseur d'image, respectivement,  $\psi$  étant l'angle d'azimut. L'erreur de MTF résultant de cette modification de la mise au point est donnée en 4.2.1 à 4.2.2, pour chaque configuration de banc.

#### 4.2.1 Plans conjugués objet et image à distance finie

$$\Delta \text{MTF}(r) = m'(r, h')[\Delta z'(\psi) + M^2 \cdot \Delta z(\psi)]$$

#### 4.2.2 Plans conjugués objet à distance infinie et image à distance finie

$$\Delta\text{MTF}(r) = m'(r, h') [\Delta z'(\psi) + R^2 \cdot \Delta z(\psi)]$$

$R$  étant le rapport  $\frac{\text{longueur focale de la lentille d'essai}}{\text{longueur focale du collimateur}}$ .

$R^2$  est généralement faible et le second terme entre parenthèses peut être négligé.

#### 4.2.3 Plans conjugués objet et image à distance infinie

$$\Delta\text{MTF}(r) = m'(r, h') [\Delta z'(\psi) + (M \cdot R)^2 \cdot \Delta z(\psi)]$$

$R$  étant le rapport  $\frac{\text{longueur focale du décollimateur}}{\text{longueur focale du collimateur}}$  et  $M$  le grossissement du télescope d'essai.

#### 4.2.4 Intensificateur d'image et autres systèmes avec surfaces d'objet et/ou d'image définies physiquement

Lorsqu'une technique d'essai est utilisée avec refocalisation de la mire-objet sur le plan objet et/ou image sur l'analyseur d'image, pour chaque azimuth d'essai (voir 4.1.4), il n'en résultera aucune erreur. Lorsqu'une technique d'essai est utilisée sans qu'il y ait refocalisation alors que l'azimut objet/images modifié, les erreurs de MTF sont alors données par :

$$\Delta\text{MTF}(r) = m(r, h) \cdot \Delta z(\psi) + m'(r, h') \cdot \Delta z'(\psi)$$

#### 4.3 Alignement (orientation) de l'ensemble source - mire-objet et de l'analyseur d'image

Lorsque l'ensemble source - mire-objet et l'analyseur d'image utilisent tous deux des mires-masque sans symétrie circulaire, leur orientation relative est importante. En principe, un des masques (ou les deux) a la forme d'une fente perpendiculaire à la direction de balayage. Tout désalignement angulaire  $\Delta\psi$  entre les deux (voir figure 1) aura pour effet une augmentation effective de la largeur de la fente :

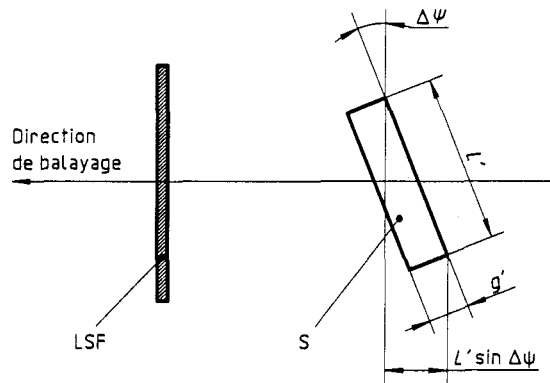
$$\begin{aligned} \Delta g' &= L' \cdot \Delta\psi \\ \Delta\text{MTF}(r) &= m(r, h) \cdot \Delta z(\psi) + m'(r, h') \cdot \Delta z'(\psi) \end{aligned}$$

$L'$  étant la longueur de la plus courte des deux fentes, rapportée au plan image. L'erreur résultante dans la MTF est donnée par :

$$\Delta\text{MTF}(r) = \pi \cdot r \cdot L' \cdot \Delta\psi \cdot \Delta\text{MTF}(r) \cdot \left( \frac{1}{(\pi \cdot r \cdot g')} - \frac{1}{\tan(\pi \cdot r \cdot g')} \right)$$

$g'$  étant la largeur supposée de la fente, rapportée au plan image.

Il est important de remarquer que certains types d'équipements utilisent une fente et une mire combinées pour générer une mire-objet périodique dont la fréquence spatiale peut varier en fonction de l'orientation de la mire par rapport à la fente. Les erreurs de fréquence spatiale résulteront généralement d'erreurs dans l'orientation relative de la fente et de la mire. L'utilisateur peut procéder à sa propre évaluation de l'impact de ces erreurs (voir 4.6 sur l'effet des erreurs de fréquence spatiale sur la MTF).



$$w = g' + L' \sin \Delta\psi$$

**Légende**

- LSF
- S Fente de l'analyseur d'image
- L' Longueur de la fente
- g' Largeur de la fente
- Δψ Désalignement angulaire de la fente
- w Largeur effective de la fente

**Figure 1 - Erreurs dues à l'alignement lors de l'analyse de la fente du modèle objet W.R.T**

**4.4 Facteurs de correction**

Les facteurs de correction s'appliquent aux mesurages de MTF pour permettre à l'effet des constantes d'équipement telles que la largeur finie des fentes de mire-objet et/ou d'analyseur, la MTF de lentilles relais couplées avec incohérence et l'effet de la géométrie de mesurage hors de l'axe sur la fréquence spatiale (voir ISO 9335). Les erreurs de MTF se produiront si ces facteurs ne sont pas appliqués ou s'il y a une erreur dans la valeur du facteur de correction appliqué. Seuls les facteurs de correction les plus courants sont ici considérés. Ils peuvent cependant servir d'exemple sur la manière de traiter d'autres types de facteurs de correction.

**4.4.1 Erreurs de largeur de fente**

Les erreurs ou incertitudes portant sur la largeur des fentes induiront des erreurs dans la MTF mesurée :

$$\Delta MTF(r) = \pi \cdot r \cdot MTF(r) \cdot \left( \frac{1}{(\pi \cdot r \cdot g')} - \frac{1}{\tan(\pi \cdot r \cdot g')} \right) \cdot \Delta g'$$

g' étant la largeur supposée de la fente rapportée au plan image et Δg' l'erreur ou incertitude de valeur.

**4.4.2 Correction de lentilles relais couplées de façon incohérente pour les MTF**

Les lentilles relais couplées de façon incohérente sont fréquemment utilisées dans les équipements de mesurage de la MTF des dispositifs et systèmes électro-optiques tels que des tubes intensificateurs d'image. La réciproque de la MTF de ces lentilles relais s'applique à la MTF mesurée comme un facteur de correction. Toute erreur de valeur de la MTF de ces lentilles relais engendrera ainsi des erreurs dans la valeur finale de la MTF pour le système à l'essai. Si l'erreur sur la MTF d'une telle lentille relais est ΔMTF<sub>c</sub>(r) et la valeur réelle de sa MTF est MTF<sub>c</sub>(r), l'erreur sur la MTF du système d'essai est alors donnée par :

$$\Delta MTF(r) = MTF(r) \frac{\Delta MTF_c(r)}{MTF_c(r)}$$

MTF(r) étant la MTF du système.

Des considérations similaires s'appliquent à d'autres cas de mesurage, lorsqu'une correction est appliquée, pour la MTF d'un dispositif dans la série de mesurage.

#### 4.4.3 Correction de fréquence spatiale pour angle de champ

En effectuant les mesurages hors de l'axe avec un modèle d'essai de mire placé sur l'axe et dans le plan focal d'un collimateur, il convient de procéder à une correction de l'échelle de fréquence (applicable à chaque fois que la fréquence est mesurée dans ce plan). La fréquence corrigée est donnée par :

$$r = r_0 \cos^2(\omega) \quad \text{pour l'azimut tangentiel}$$

$$r = r_0 \cos^2(\omega) \quad \text{pour l'azimut radial}$$

$r_0$  étant la fréquence sur l'axe.

Des erreurs de la valeur de  $r$  seront générées par des erreurs de la valeur du champ d'angle  $\omega$ . La valeur de ces erreurs est donnée par :

$$\Delta r = 2 r_0 \sin(\omega) r_0 \cos(\omega) \cdot \Delta \omega$$

et

$$\Delta r = r_0 \sin(\omega) \cdot \Delta \omega$$

L'impact de ces erreurs sur la MTF peut être calculé de la façon indiquée en 4.6.

(standards.iteh.ai)

#### 4.5 Erreur de mise au point

Toute erreur ou incertitude de mise au point de  $\Delta z'$  (rapportée au plan image) aura pour résultat une erreur de la MTF ou incertitude, donnée par :

$$\Delta \text{MTF}(r, h') = m'(r, h') \cdot \Delta z'$$

$m'(r, h')$  étant le taux de variation de la MTF avec mise au point pour une fréquence spatiale  $r$  et une hauteur d'image  $h'$ .

La valeur de  $\Delta z'$  va dépendre de plusieurs facteurs, les principaux étant : la sensibilité de contrôle du foyer, la technique de focalisation utilisée, la fréquence spatiale à laquelle la MTF est maximisée (une basse fréquence ayant tendance à générer un faible degré de précision de la focalisation), l'ouverture numérique (NA) et la MTF de la lentille d'essai, le rapport signal/bruit associé à l'équipement et à la configuration d'essai particuliers.

Les incertitudes sur la position focale mèneront uniquement à de faibles erreurs de MTF au niveau de la position du champ où la lentille est focalisée (en principe sur l'axe). Cependant, de grandes erreurs peuvent éventuellement résulter d'autres positions de champ, en particulier en présence d'astigmatisme et/ou de courbure de champ.

#### 4.6 Erreurs de fréquence spatiale

Une erreur  $\Delta r$  de la fréquence spatiale générera une erreur de MTF :

$$\Delta \text{MTF}(r, h) = n'(r, h) \cdot \Delta r$$

$n'(r, h)$  étant le taux de variation de la MTF avec une fréquence spatiale.