

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**9336-3**

Première édition  
1994-10-15

---

---

**Optique et instruments d'optique —  
Fonction de transfert optique —  
Application —**

**Partie 3:**  
**(Télescopes.iteh.ai)**

ISO 9336-3:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74ca2a68-b98c-4dd6-9b54-0a710e816ac/iso-9336-3-1994>  
**Optics and optical instruments — Optical transfer function —  
Application —**

*Part 3: Telescopes*



Numéro de référence  
ISO 9336-3:1994(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 9336-3 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et instruments d'optique*, sous-comité SC 1, *Normes fondamentales*.

L'ISO 9336 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Optique et instruments d'optique — Fonction de transfert optique — Application*:

- *Partie 1: Objectifs interchangeables pour appareils photographiques de 35 mm*
- *Partie 2: Objectifs pour photocopieurs de bureau*
- *Partie 3: Télescopes*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 9336 sont données uniquement à titre d'information.

# Optique et instruments d'optique — Fonction de transfert optique — Application —

## Partie 3: Télescopes

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 9336 prescrit une méthode d'essai des télescopes en ce qui concerne l'état de formation d'images lors des mesures de la fonction de transfert optique. Elle fournit également des renseignements sur les essais de certains de leurs éléments constitutifs et sous-ensembles.

### 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 9336. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 9336 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées 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*.

ISO 9335:—<sup>1)</sup>, *Optique et instruments d'optique — Fonction de transfert optique — Principes et procédures de mesure*.

CIE Publication No. 18.2 (1983), *The basis of physical photometry*.

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 9336, les définitions données dans l'ISO 9334 s'appliquent.

### 4 Description générale des spécimens d'essai et caractère approprié des essais de la fonction de transfert optique

Les spécimens pris en considération sont des télescopes à vision directe qui donnent généralement à l'observateur une présentation agrandie d'une scène lointaine. Cette catégorie comporte de nombreux instruments tels que les théodolites, les jumelles portatives et les instruments d'observation montés sur véhicule.

Certains de ces instruments, comme par exemple les théodolites, qui ont des champs de vision étroits, de l'ordre de  $\pm 1^\circ$  dans l'espace objet, présentent un champ plat avec peu ou pas d'astigmatisme et un grossissement d'environ 20 fois. Par contre, les jumelles et autres instruments du même genre ont un champ de vision plus large, jusqu'à environ  $\pm 3,5^\circ$  dans l'espace objet et offrent un grossissement de 10 fois. Ces instruments peuvent présenter une courbure de champ considérable couplée à de l'astigmatisme, selon les buts poursuivis par le concepteur optique. Par exemple, la courbure de champ peut être minimisée dans une partie alors qu'un astigmatisme considérable sera conservé ou bien, par contre, l'astigmatisme peut être réduit à un

1) À publier.

niveau négligeable alors que la courbure de champ sera de 1 ou 2 dioptries en bordure du champ.

Idéalement, il serait souhaitable que les instruments ne présentent aucun astigmatisme et aucune courbure de champ tout en offrant une bonne correction chromatique mais des compromis du type de celui susmentionné doivent souvent être tolérés.

De nombreux systèmes optiques comportent aujourd'hui des prismes en forme de toit qui contribuent à donner des instruments peu encombrants et, dans ce cas, l'orientation de l'arête du toit doit être indiquée.

À l'utilisation, l'œil est couplé de manière cohérente au télescope, si bien qu'on pourrait supposer que le seul essai valable serait un essai qui ferait intervenir l'œil: voir par exemple le cas des systèmes optiques en cascade dans l'introduction de l'ISO 9334. Toutefois, lors d'essais effectués par des observateurs utilisant des télescopes, on a obtenu une performance améliorée avec des instruments offrant une meilleure performance de la fonction de transfert optique dans divers essais, notamment des essais de sensibilité aux contrastes au moyen de cibles à mire sinusoïdale, ce qui confirme la valeur des essais de la fonction de transfert optique.

Les essais de la fonction de transfert optique permettent également de comparer la performance à celle calculée par le concepteur du télescope et ils constituent des essais efficaces d'assurance qualité des spécimens produits en série.

Lorsqu'on prend en considération les détails des essais, il importe de garder à l'esprit certaines caractéristiques de l'œil, notamment son aptitude à s'accommoder pour diverses distances objet et d'adapter l'ouverture de diaphragme, en variant la taille de l'iris, en fonction de l'éclairage ambiant. Il est donc nécessaire pour commencer de refocaliser pour les essais hors axe, contrairement à ce qui se passe avec les essais des objectifs photographiques. Ensuite, l'ouverture de diaphragme du télescope, c'est-à-dire le diamètre de la pupille de sortie, doit correspondre à la pupille de l'œil récepteur qui a généralement un diamètre variant dans une plage de 7 mm à 3 mm, dans les essais de la fonction de transfert optique applicables à l'utilisation du télescope à différents niveaux d'éclairage ambiant.

## 5 Montage d'essai

### 5.1 Configuration du banc d'essai

Le montage d'essai est représenté schématiquement à la figure 1. La séparation entre la mire d'essai et le collimateur est réglée de manière à fournir une dis-

tance conjuguée infinie. La séparation entre le collimateur de l'analyseur d'image et l'analyseur d'image doit pouvoir être réglée au moyen d'un micromètre approprié, agissant sur la glissière de focalisation de l'analyseur d'image, pour positionner ce dernier sur l'image de la mire d'essai.

Lorsque l'ensemble générateur d'objets (mire d'essai et collimateur) et l'ensemble analyseur d'image (collimateur de l'analyseur d'image et analyseur d'image) sont alignés, sans le système optique à essayer, le réglage du micromètre pour une réponse optimale du système d'essai constituera la valeur d'analyse. Lorsque le système optique à essayer est en place pour un essai dans l'axe, il faut refocaliser l'analyseur d'image et toute variation par rapport au réglage d'analyse fournit une mesure du réglage dioptrique dans l'axe du système optique à essayer. Dans les essais hors axe, il faut trouver un réglage différent de celui utilisé pour les essais dans l'axe et la nouvelle variation par rapport au réglage d'analyse fournit le réglage dioptrique pour le point champ et l'azimut donnés de l'essai; la différence par rapport au réglage de l'essai dans l'axe donne une mesure de la courbure de champ. Dans les essais hors axe, avec une configuration dans laquelle le spécimen d'essai est maintenu en position fixe, on fait tourner l'ensemble du générateur d'objets autour d'un point de l'axe de référence, au niveau ou à proximité de la pupille d'entrée du spécimen, selon un angle  $\omega$ . On fait tourner l'ensemble de l'analyseur d'image autour d'un point de l'axe de référence, au niveau ou à proximité de la pupille de sortie du spécimen, selon un angle  $\omega'$ .

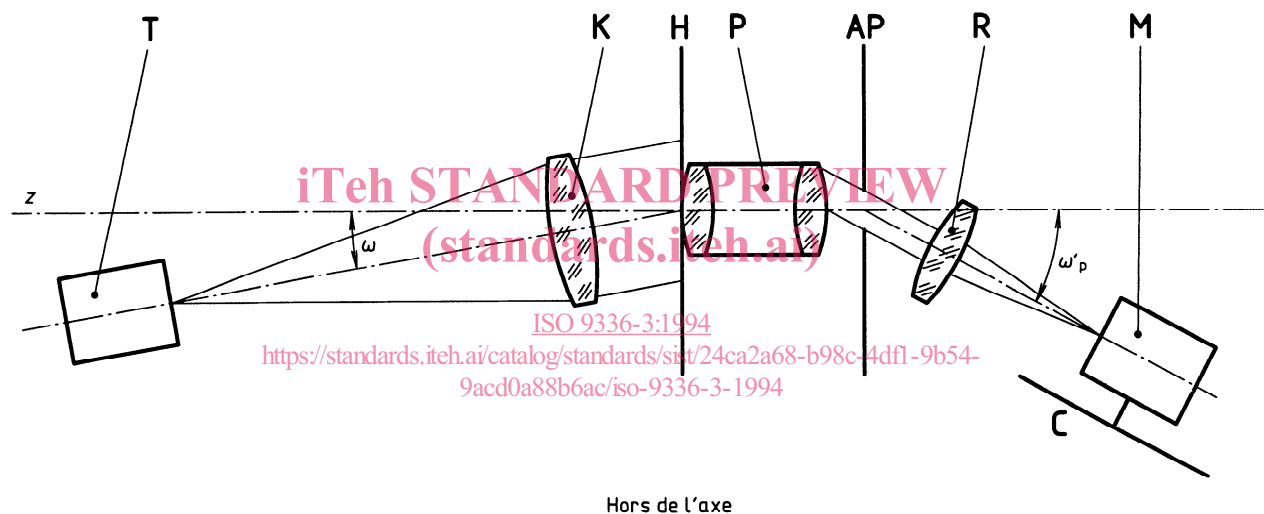
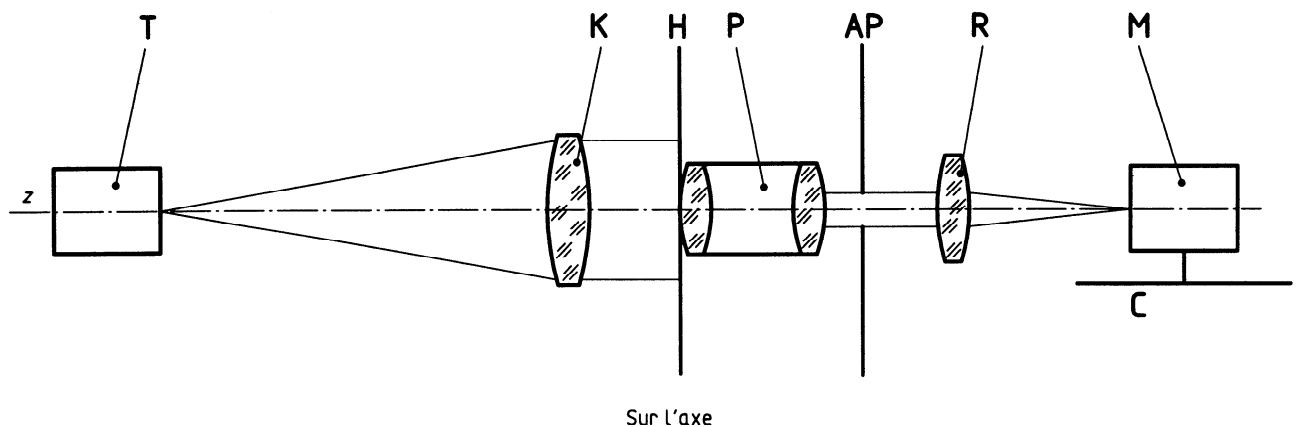
### 5.2 Collimateurs

Le collimateur objet doit être un achromat bien corrigé dont la distance focale est au moins le double de celle de l'objectif du spécimen et dont le diamètre de l'ouverture de diaphragme doit être d'au moins 10 mm supérieur à celui de l'objectif du spécimen.

Pour le collimateur de l'analyseur d'image, 100 mm constitue une distance focale pratique car elle garantit que le mouvement de l'analyseur d'image le long de sa glissière de focalisation se situe dans la plage de mouvement d'un micromètre facilement disponible (par exemple 25 mm) si la courbure de champ atteint environ 2 dioptries.

### 5.3 Réponse spectrale

La réponse spectrale du système d'essai doit correspondre à celle d'un observateur utilisant un spécimen selon une vision normale. Pour cela, on peut utiliser une combinaison de filtres spécialement conçus pour



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO 9336-3:1994  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/24ca2a68-b98c-4df1-9b54-9acd0a88b6ac/iso-9336-3-1994>

**Légende**

T	Mire d'essai	$\omega_p, \omega'_p$	Angles des champs objet et image pupillaires
K	Collimateur objet	M	Analyseur d'image
P	Spécimen d'essai	R	Collimateur de l'analyseur d'image
H	Support du spécimen d'essai	C	Glissière de focalisation de l'analyseur d'image
AP	Pupille de sortie	z	Axe de référence

**Figure 1 — Schéma de montage: objet à l'infini, image nominale à l'infini**

donner la correspondance voulue conjointement avec l'émission de la source et la sensibilité spectrale du détecteur (voir remarques du tableau 2).

La position la plus efficace du filtre est située après l'élément d'analyse de l'image car l'incidence du rayonnement parasite se trouve ainsi réduite. Toutefois, dans de bonnes conditions expérimentales, il est tout à fait possible de positionner le filtre dans la mire d'essai.

**5.4 Domaine de fréquences spatiales**

Dans une grande mesure, les domaines de fréquences spatiales obtenus dans l'espace objet dépendront du spécimen d'essai. Dans l'espace image, le domaine est limité par la résolution de l'œil et pour la plupart des applications, une plage de 0 à 2 mrad<sup>-1</sup> est adéquate. Le domaine de fréquences correspondant dans l'espace objet sera donné par 0 à 2M mrad<sup>-1</sup> (M étant le grossissement du télescope).

On peut obtenir la fréquence spatiale dans l'espace objet soit

- a) par le calcul, en utilisant la fréquence spatiale linéaire de la mire d'essai, conjointement à la distance focale du collimateur, soit
- b) par mesure de la sous-tendante angulaire d'un certain nombre de cycles de la mire d'essai collimatée, suivie du calcul approprié pour obtenir la fréquence spatiale.

## 5.5 Azimuts

Les essais selon deux azimuts orthogonaux sont généralement suffisants, c'est-à-dire dans les sections radiales et tangentielles.

Les systèmes comportant des prismes en forme de toit constituent un cas spécial car il faut alors s'assurer que pour une des mesures, le sens de variation de l'intensité de la mire d'essai est normal à l'arête du toit.

## 5.6 Préparation du spécimen d'essai

Les surfaces optiques exposées doivent être propres et le spécimen doit avoir atteint la température stable du laboratoire d'essai.

Sauf spécification contraire, les oculaires de focalisation doivent être réglés à  $-1,0$  dioptrie, valeur fréquemment utilisée pour les instruments à focale fixe. La série complète d'essais spécifiés est effectuée avec ce réglage.

Pour les essais évaluant la performance avec une pupille de sortie réduite, des incertitudes peuvent se présenter en raison de la difficulté à bien positionner un diaphragme à la pupille de sortie, notamment lors des mesures hors axe. Cela est dû à une combinaison de vignettage, de distorsion de la pupille et de dérive de la pupille le long de l'axe de référence par rapport à la position de la pupille dans l'axe. En conséquence, il est préférable de positionner un diaphragme de diamètre correspondant à la pupille d'entrée. La taille du diaphragme est donnée par le produit de la pupille de sortie souhaitée par le grossissement du spécimen.

## 5.7 Accessoires

En plus des dispositifs servant à maintenir les spécimens d'essai, on peut avoir besoin de moyens per-

mettant d'aligner le faisceau d'essai avec l'axe d'entrée du spécimen, notamment pour les instruments présentant d'importants décalages entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie. Pour cela il faut avoir recours à des moyens mécaniques dans la mesure du possible, sinon on pourra utiliser des déviateurs de faisceau périscopiques réglables avec un châssis et des miroirs plans. Les miroirs utilisés à cette fin doivent être plans avec une tolérance de  $-\lambda/10$ . Le système de miroirs combinés doit être tel que la dégradation du front d'onde n'ait pas une incidence importante sur l'exactitude de mesure.

## 6 Normalisation des valeurs de la fonction de transfert optique

Les dispositions de normalisation avec les équipements qui permettent de régler à 1,0 la réponse à zéro cycle seront généralement satisfaisantes mais des contrôles complémentaires pourront être nécessaires.

## 7 Conditions d'essai

Les essais doivent être effectués conformément aux principes généraux et procédures donnés dans l'ISO 9335.

ISO 9336-3:1994

## 8 Spécification de l'«état d'imagerie»

### 8.1 Spécimen d'essai

Le tableau 1 spécifie un «état d'imagerie» pour le spécimen d'essai.

### 8.2 Appareillage de mesure

Le tableau 2 spécifie un «état d'imagerie» pour l'appareillage de mesure.

### 8.3 Mesures

Le tableau 3 spécifie un «état d'imagerie» pour les mesures.

## 9 Présentation

Le tableau 4 spécifie un «état d'imagerie» pour la présentation.



Tableau 1

Paramètre	Valeur/réglage	Remarques	Références
Configuration	En ligne En ligne avec décalage Incliné Périscopique	Certaines configurations nécessitent un appareillage auxiliaire.	5.7
Grossissement et diamètre de l'objectif	Exemples: 7 × 50 8 × 40 10 × 30	Ces exemples donnent des pupilles de sortie de 7 mm 5 mm 3 mm	
Pupille de sortie	7 mm 5 mm 3 mm 2 mm	Pour obtenir des diamètres réduits de pupille de sortie, utiliser des diaphragmes appropriés.	5.6
Champ visuel	Par exemple $\pm 3^\circ$	Dans l'espace objet.	Article 4
Réglage du foyer de l'oculaire	- 0,5 dioptrie pour les oculaires de focalisation		5.6
Repère de référence	Caractéristique de montage	Si le spécimen d'essai comporte un prisme en forme de toit, l'angle entre le vecteur du repère de référence et l'arête du toit, projeté sur la pupille d'entrée, doit être donné. Il est préférable que cet angle soit de $0^\circ$ .	Article 4

Tableau 2

Paramètre	Valeur/réglage	Remarques	Références
Configuration du banc	Objet à l'infini Le collimateur côté image forme une image dans le plan de l'analyseur d'image	Nécessité d'ajuster la focalisation.	5.1 et 5.2 5.2
Caractéristiques spectrales	La combinaison du filtre à large bande de la source de rayonnement et de l'analyseur devrait présenter des caractéristiques spectrales globales correspondant à la courbe $V_\lambda$ de l'œil	1) Domaine spectral: D'au moins 400 nm à 670 nm. 2) Source de rayonnement: Lampe halogène au tungstène fonctionnant à une température de couleur corrélée de $(3\ 200 \pm 200)$ K, combinée avec un filtre à large bande. 3) Analyseur: Photomultiplicateur à photocathode S 20.	5.3 $V_\lambda$ = efficacité lumineuse spectrale pour la vision photopique (CIE No. 18.2).

Tableau 3

Paramètre	Valeur/réglage	Remarques	Références
MTF	MTF est indispensable PTF si spécifié		
Focalisation	MTF maximum dans l'axe à $2 \text{ mrad}^{-1}$ dans l'espace image  Il peut s'avérer nécessaire de focaliser pour les sections radiales et tangentielles  Hors axe: il sera nécessaire de refocaliser pour les sections radiales et tangentielles	Focale d'analyse à définir pour $\infty$ .  Pour certaines catégories de spécimens, les fréquences spatiales inférieures ou supérieures pourront convenir.	5.1
Pupille de sortie	Pleine ouverture et 3 mm	Autres, si exigées, comme défini au tableau 1.	
Angle de champ pupillaire ( $\omega_p$ )	Dans l'axe $\pm 0,5$ semi-champ $\pm 0,7$ semi-champ $\pm 0,85$ semi-champ		
Angle de référence ( $\theta$ )	1) $0^\circ$ , $90^\circ$ , $180^\circ$ et $270^\circ$ 2) Angle de l'arête du toit	ISO 9336-3:1994	
Azimut	Radial et tangentiel	<a href="https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/24ca2a68-b98c-4d11-9b54-9acd0a88b6ac/iso-9336-3-1994">https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/24ca2a68-b98c-4d11-9b54-9acd0a88b6ac/iso-9336-3-1994</a>	5.5
Réglage dioptrique	Si spécifié	Généralement applicable aux spécimens à focale fixe.  Calculé à partir de la différence entre la focale d'analyse et le réglage de focale dans l'axe.	
Courbure de champ		Calculée à partir de la différence entre le réglage de focale dans l'axe et les réglages de focales hors axe dans les sections radiales et tangentielles pour les angles de champ choisis.	
Astigmatisme		Calculé à partir de la différence entre les réglages de focales radiale et tangentielle aux angles de champ choisis.	
Plan de référence	Réglage de focale d'analyse au niveau de l'analyseur d'image	Objet à $\infty$ ; absence de spécimen d'essai; analyseur d'image focalisé pour MTF maximum.	
Fréquences spatiales choisies dans l'espace image ( $\text{mrad}^{-1}$ )	0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 et 2,0	La performance du spécimen peut interdire les fréquences spatiales supérieures à $1 \text{ mrad}^{-1}$ voire à $0,5 \text{ mrad}^{-1}$ .	5.4



Tableau 4

Paramètre	Valeur/réglage	Remarques	Références
Fréquences pour présentation numérique	10 fréquences équidistantes sur la plage de mesure pratique.		

## 10 Précision de l'appareillage

L'incertitude de mesure doit être évaluée soit en utilisant des télescopes d'essai connus ou reconnus, soit en estimant toutes les sources d'erreurs systématiques et aléatoires.

Une méthode consiste à remplacer le spécimen d'essai et le collimateur de l'analyseur d'image par un collimateur similaire au collimateur objet, pour former une image de la mire d'essai sans le spécimen d'essai. Ensuite, au moyen d'un filtre à bande étroite, 546 nm, et en supposant que les collimateurs ont une performance limitée en diffraction, on devrait obtenir la bonne réponse au moyen d'un domaine de fréquences spatiales.

À défaut, on pourra utiliser des instruments spéciaux de construction stable. Pour faciliter l'alignement du montage d'essai, pour tous les points du champ considérés, un graticule comportant des cercles est intégré de sorte que chaque point du champ soit identifié comme étant le centre d'un cercle (voir référence [3] à l'annexe B).

## 11 Essais d'assurance qualité

### 11.1 Mode opératoire général

Une forme abrégée du mode opératoire peut suffire pour de nombreuses applications. Un domaine de fréquences spatiales réduit ou des essais effectués pour une ou deux fréquences spatiales appliquées dans l'axe, et peut-être en un point du champ hors axe, peuvent suffire.

### 11.2 Systèmes MTF à balayage azimutal

Les essais MTF généralement utilisés aux azimuts radiaux et tangentiels peuvent ne pas convenir s'il

existe d'importantes variations de performance aux azimuts intermédiaires. Par conséquent, il peut être avantageux d'effectuer l'essai avec une seule fréquence spatiale balayant tous les azimuts. La figure 2 représente un schéma d'un tel système d'essai dans lequel la mire d'essai tourne autour de l'axe optique dans un plan normal à l'axe, l'élément d'analyse étant un trou d'épingle. Les paramètres de l'appareillage de mesure sont conformes au tableau 2.

#### 11.2.1 Focalisation

Lors de la focalisation, trois critères de transfert de modulation peuvent être pris en considération:

- celui qui donne la variation minimale du facteur indiqué lors du balayage de tous les azimuts;
- celui qui donne à la valeur minimale du facteur indiqué à sa valeur maximale lors du balayage de tous les azimuts;
- celui qui donne la valeur la plus élevée de la moyenne du facteur indiqué lors du balayage de tous les azimuts.

Si une seule valeur de la réponse MTF est nécessaire pour caractériser le spécimen, il est préférable de prendre la valeur minimale obtenue avec le critère b). Si la valeur moyenne est indiquée, la variation par rapport à la moyenne doit également être indiquée et, par conséquent, un mode opératoire plus élaboré est alors nécessaire.

Généralement, le critère b) constitue la méthode obligatoire.

#### 11.2.2 Fréquence spatiale

En raison de la nature exploratoire de l'essai, une fréquence spatiale donnant un facteur de transfert de modulation se situant entre 0,4 et 0,7 est appropriée.