
Optique et photonique — Fonction de transfert optique — Principes de mesure de la fonction de transfert de modulation (MTF) des systèmes de formation d'image échantillonnés

Optics and photonics — Optical transfer function — Principles of measurement of modulation transfer function (MTF) of sampled imaging systems
(standards.iteh.ai)

[ISO 15529:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15529:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2010

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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles.....	2
3.1 Termes et définitions	2
3.2 Symboles.....	4
4 Relations théoriques	5
4.1 Transformée de Fourier de l'image de la fente objet (statique).....	5
4.2 Transformée de Fourier de la sortie d'une ouverture d'échantillonnage simple impliquant une fente objet explorée à travers l'ouverture	7
4.3 Transformée de Fourier de la LSF moyenne impliquant différentes positions de la fente objet	7
5 Méthodes de mesure des MTF associées aux systèmes de formation d'image	8
5.1 Généralités	8
5.2 Azimut d'essai	9
5.3 Mesurage de la MTF du système, $T_{\text{sys}}(r)$, d'un dispositif de formation d'image échantillonné ou d'un système complet	10
5.4 Mesurage de la MTF de l'ouverture d'échantillonnage, T_{ap}	16
6 Méthode de mesure de la fonction de repliement du spectre, du rapport de repliement du spectre et du potentiel de repliement du spectre	17
Annexe A (informative) Théorie fondamentale	18
Annexe B (informative) Repliement du spectre dans les systèmes de formation d'image échantillonnés	21
Bibliographie.....	26

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

L'attention est appelée 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.

L'ISO 15529 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 1, *Normes fondamentales*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 15529:2007), qui a fait l'objet d'une révision mineure afin d'inclure les modes opératoires de mesure et d'essai pour le repliement du spectre des systèmes de formation d'image échantillonnés.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15529:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010>

Introduction

La fonction de transfert de modulation, MTF, constitue l'un des principaux critères de description des performances d'un système ou d'un dispositif de formation d'image. Les conditions d'application du concept MTF auxquelles satisfait un système de formation d'image sont spécifiées dans l'ISO 9334 et impliquent que le système de formation d'image soit linéaire et isoplanétique.

Pour qu'un système soit isoplanétique, l'image d'un point objet (c'est-à-dire la répartition des éclaircissements dans l'image d'un point) doit être indépendante de sa position dans le plan objet, dans les limites d'exactitude spécifiées. Il existe plusieurs types de systèmes de formation d'image où cette condition n'est pas strictement remplie. Ce sont des systèmes où l'image est générée en échantillonnant la répartition de la luminance dans l'objet sur un nombre de points discrets ou de lignes discrètes, plutôt que sur un continuum de points.

Parmi ces dispositifs ou systèmes, on peut citer les lames frontales de fibres, les faisceaux de fibres optiques cohérents, les caméras utilisant des groupements de détecteurs tels que des matrices de CCD, les systèmes infrarouges à balayage tels que les caméras infrarouges (dont l'azimut est perpendiculaire aux lignes), etc.

Si l'on essaye de déterminer la MTF de ce type de système en mesurant la répartition des éclaircissements d'une droite objet statique étroite et en calculant le module de la transformée de Fourier, on trouvera que la courbe MTF résultante dépend étroitement de la position et de l'orientation exactes de la droite objet par rapport à la barrette des points d'échantillonnage (voir Annexe A).

La présente Norme internationale spécifie une MTF s'appliquant à des systèmes de ce type et expose plusieurs méthodes de mesure appropriées. La MTF spécifiée répond aux principaux critères suivants:

- la qualité du système en tant que dispositif de formation d'image dépend de la MTF;
- la MTF est une valeur unique et indépendante de l'appareil de mesure (c'est-à-dire que l'effet des largeurs de la fente-mire, etc., peut faire l'objet d'une déconvolution à partir de la valeur mesurée);
- la MTF peut, en principe, être utilisée pour calculer la répartition de luminance dans l'image d'un objet défini, bien que le mode opératoire ne suive pas les mêmes règles que pour un système de formation d'image non échantillonné.

La présente Norme internationale décrit également les MTF destinées aux unités secondaires, c'est-à-dire les étapes de formation d'image constituant ce type de systèmes. Ces dernières répondent également aux critères susmentionnés.

Un aspect très important des systèmes de formation d'image échantillonnés est le repliement du spectre qui peut leur être associé. L'importance de ce phénomène réside dans le fait qu'il permet la production de fréquences spatiales supérieures à la fréquence de Nyquist dans l'image finale sous forme de basses fréquences parasites. Cela génère dans l'image finale des artefacts qui peuvent être considérés comme une forme de bruit. Le degré de nuisance de ce type de bruit dépendra des caractéristiques de l'image échantillonnée. Par exemple, des images à motifs réguliers ayant des fréquences spatiales supérieures à la fréquence de Nyquist (par exemple textures tissées de vêtements) peuvent se traduire par des motifs à franges très visibles dans l'image finale, communément appelés franges moirées. Celles-ci sont inacceptables dans la plupart des applications si le contraste les rend visibles pour l'observateur. Même en l'absence de motifs réguliers, le repliement du spectre peut produire des motifs bruités susceptibles de dégrader une image.

Une mesure quantitative du repliement du spectre peut être obtenue à partir des mesurages de la MTF effectués dans des conditions données. La présente Norme internationale définit ce type de mesurages et décrit les conditions de mesure.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15529:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010>

Optique et photonique — Fonction de transfert optique — Principes de mesure de la fonction de transfert de modulation (MTF) des systèmes de formation d'image échantillonnés

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit les principales MTF associées à un système de formation d'image ainsi que les conditions connexes et expose plusieurs méthodes de mesure possibles de ces MTF. Elle définit également une mesure pour le repliement du spectre lié à la formation d'image avec ce type de système.

La présente Norme internationale s'applique particulièrement aux dispositifs d'imagerie électroniques tels que les appareils photonumériques et les caméras vidéo numériques, et les groupements de détecteurs qu'ils renferment.

Bien qu'un certain nombre de méthodes de mesure MTF soient décrites ci-après, la présente Norme internationale n'a pas vocation d'exclure les autres méthodes si tant est qu'elles fournissent des résultats similaires et qu'elles correspondent aux définitions générales et aux lignes directrices visant à mesurer la MTF conformément à l'ISO 9334 et à l'ISO 9335. L'exploitation du mesurage de la répartition des éclaircissements dans l'image d'un «bord de plage», plutôt que de la répartition des éclaircissements dans l'image d'une ligne, LSF, est mentionnée comme solution de départ optionnelle pour déterminer l'OTF/MTF d'un système de formation d'image (OTF = fonction de transfert optique).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b31caedc-aeb9-4169-8d74-8bc13aebdbe5/iso-15529-2010>

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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 9334, *Optique et photonique — Fonction de transfert optique — Définitions et relations mathématiques*

ISO 9335, *Optique et photonique — Fonction de transfert optique — Principes et procédures de mesure*

ISO 11421, *Optique et instruments d'optique — Exactitude du mesurage de la fonction de transfert optique (OTF)*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 9334 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

système de formation d'image échantillonné

système ou dispositif optique où l'image est générée par échantillonnage de l'objet sur un alignement de points discrets ou le long d'un ensemble de lignes discrètes, plutôt que sur un continuum de points

NOTE 1 L'échantillonnage sur chaque point est réalisé à partir d'une ouverture ou d'une zone d'échantillonnage finie.

NOTE 2 Pour de nombreux dispositifs, «l'objet» est en fait une image produite par une lentille ou un autre système d'imagerie (par exemple lorsque le dispositif forme un groupement de détecteurs).

3.1.2

période d'échantillonnage

a

distance physique entre les points ou les lignes d'échantillonnage

NOTE L'échantillonnage est souvent effectué au moyen d'une barrette uniforme de points ou de lignes. La période d'échantillonnage peut être différente dans deux directions orthogonales.

3.1.3

limite de Nyquist

fréquence spatiale maximale d'onde sinusoïdale égale à $1/(2a)$ que le système peut générer dans une image

NOTE Voir aussi 3.1.9.

3.1.4

fonction de répartition des éclairissements dans l'image d'une ligne (LSF) de l'ouverture d'échantillonnage d'un système d'imagerie échantillonné

$L_{ap}(u)$

variation de la luminance ou du signal échantillonné impliquant une ouverture ou une ligne simple de la barrette d'échantillonnage, alors qu'une droite objet étroite est transversale à cette ouverture ou à cette ligne, ainsi qu'aux ouvertures ou aux lignes adjacentes

NOTE 1 L'orientation de cette transversale est perpendiculaire à la longueur de la droite objet étroite et, dans le cas de systèmes s'échantillonnant sur des lignes discrètes, elle est également perpendiculaire à ces lignes.

NOTE 2 $L_{ap}(u)$ est une fonction unidimensionnelle de la position, u , dans le plan objet ou d'une position équivalente dans l'image.

3.1.5

fonction de transfert d'optique (OTF) d'une ouverture d'échantillonnage

$D_{ap}(r)$

transformée de Fourier de la répartition des éclairissements dans l'image d'une ligne, $L_{ap}(u)$, de l'ouverture d'échantillonnage

$$D_{ap}(r) = \int L_{ap}(u) \cdot \exp(-i2\pi ur) du$$

où r est la fréquence spatiale

3.1.6

fonction de transfert de modulation (MTF) de l'ouverture d'échantillonnage

$T_{ap}(r)$

module de $D_{ap}(r)$

3.1.7**fonction de reconstitution**

fonction utilisée pour convertir la sortie de chaque point, ligne ou ouverture échantillonnés, en une répartition de luminance dans l'image

NOTE La fonction de reconstitution possède une OTF et une MTF associées qui sont respectivement désignées $D_{rf}(r)$ et $T_{rf}(r)$.

3.1.8**MTF d'un système de formation d'image échantillonné**

$T_{sys}(r)$

produit de l'ouverture MTF, $T_{ap}(r)$, et de la MTF de la fonction de reconstitution, $T_{rf}(r)$, par la MTF de tout dispositif d'entrée auxiliaire (par exemple une lentille) et de tout dispositif de sortie (par exemple un moniteur à tube cathodique) considérés comme composante du système de formation d'image

NOTE Lorsque l'on indique une valeur pour T_{sys} , il est préférable de préciser les composantes du système. Ce dernier pourrait être simplement, par exemple, une matrice de détecteurs assortie de l'électronique de commande/de sortie ou un ensemble complet impliquant une caméra numérique et un écran à tube cathodique.

3.1.9**transformée de Fourier de l'image d'une fente étroite produite par le système de formation d'image**

$F_{img}(r)$

$$F_{img}(r) = \int L_{img}(u) \cdot \exp(-i2\pi ur) du$$

où la fonction de répartition des éclairissements dans l'image, $L_{img}(u)$, est la variation de la luminance ou du signal échantillonné à travers l'image d'une fente objet étroite générée par le système complet

NOTE $L_{img}(u)$ est différent selon la position de la fente objet par rapport à la barrette d'échantillonnage.

3.1.10**fonction de repliement du spectre d'un système de formation d'image échantillonné**

$A_{F,sys}(r)$

moitié de la différence entre la valeur crête et la valeur minimale de $|F_{img}(r)|$ [c'est-à-dire le module de $F_{img}(r)$], sachant que l'image de la fente soumise à essai de la MTF est décalée sur une distance supérieure ou égale à une période de la barrette d'échantillonnage

$$A_{F,sys}(r) = \frac{|F_{img}(r)|_{\max} - |F_{img}(r)|_{\min}}{2}$$

NOTE 1 C'est la valeur limite de cette différence, sachant que la largeur de la fente soumise à essai avoisine zéro (c'est-à-dire que sa transformée de Fourier est proche de l'unité).

NOTE 2 $A_{F,sys}(r)$ est une mesure du degré auquel le système répondra aux fréquences spatiales supérieures à la fréquence minimale d'échantillonnage (ou fréquence de Nyquist) et, en conséquence, générera les basses fréquences parasites dans l'image.

3.1.11**rapport de repliement du spectre d'un système de formation d'image échantillonné**

$A_{R,sys}(r)$

rapport $A_{F,sys}(r)/|F_{img}(r)|_{av}$, où $|F_{img}(r)|_{av}$ est la moyenne entre la valeur crête et la valeur minimale de $|F_{img}(r)|$, sachant que l'image de la fente soumise à essai de la MTF est décalée sur une distance supérieure ou égale à une période de la barrette d'échantillonnage

NOTE $A_{R,sys}(r)$ peut être considéré comme une mesure du rapport signal/bruit, $A_{F,sys}(r)$ étant une mesure du bruit et $|F_{img}(r)|_{av}$ une mesure du signal.

3.1.12

MTF d'un sous-système de capture d'image

$T_{imp}(r)$

produit de l'ouverture MTF, $T_{ap}(r)$, par la MTF de la lentille, $T_{lens}(r)$, où la MTF de la lentille inclut l'effet d'éventuels filtres optiques antirepliement du spectre faisant partie du système qui forme l'image sur la barrette d'échantillonnage

3.1.13

potentiel de repliement du spectre d'un système de formation d'image échantillonné

$A_{P,imp}$

rapport de la zone située sous la MTF de la capture d'image, $T_{imp}(r)$, de $r = 0,5$ à $r = 1$, à la zone située sous la même courbe de $r = 0$ à $r = 0,5$, la fréquence spatiale, r , étant normalisée de sorte que $1/a$ atteigne l'unité

3.2 Symboles

Voir Tableau 1.

Tableau 1 — Symboles utilisés

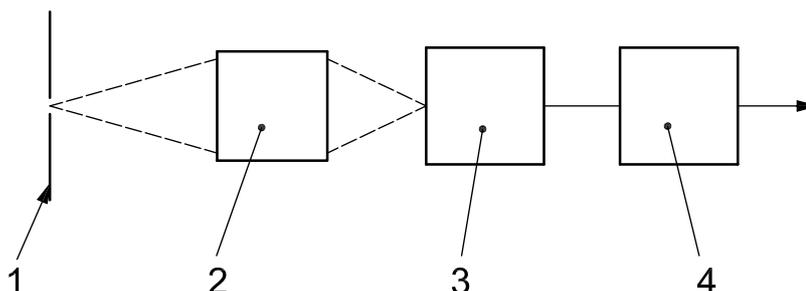
Symbole	Paramètre	Unité
$A_{F,sys}(r)$	Fonction de repliement du spectre associé au système complet de formation d'image	1
$A_{P,imp}$	Potentiel de repliement du spectre associé au sous-système de formation d'image	1
$A_{R,sys}(r)$	Rapport de repliement du spectre associé au système complet de formation d'image	1
a	Période d'échantillonnage	mm, mrad, degré
$1/(2a)$	Limite de Nyquist de la fréquence spatiale	mm ⁻¹ , mrad ⁻¹ , degré ⁻¹
$D_{ap}(r)$	Fonction de transfert optique d'une ouverture d'échantillonnage	1
$D_{lens}(r)$	Fonction de transfert optique du système optique, y compris d'éventuels filtres antirepliement du spectre	1
$D_{rf}(r)$	Fonction de transfert optique d'une fonction de reconstitution	1
$F_{av}(r)$	Transformée de Fourier de $L_{av}(u)$	1
$F_{img}(r)$	Transformée de Fourier de l'image finale de la fente objet	1
$F_{in}(r)$	Transformée de Fourier de $L_{in}(u)$	1
$F_{slit}(r)$	Transformée de Fourier de la fente objet	1
$L_{ap}(u)$	Répartition des éclairagements dans l'image d'une ligne d'une ouverture d'échantillonnage	1
$L_{av}(u)$	Répartition des éclairagements dans l'image d'une ligne obtenue en calculant la moyenne de la LSF associée à différentes positions de la fente objet par rapport à la barrette d'échantillonnage	1
$L_{img}(u)$	Répartition des éclairagements dans l'image d'une ligne associée au système complet de formation d'image	1
$L_{in}(u)$	Répartition des éclairagements dans l'image d'une ligne de la combinaison de la fente objet, du système optique y compris d'éventuels filtres antirepliement	1
r	Fréquence spatiale	mm ⁻¹ , mrad ⁻¹ , degré ⁻¹
$T_{ap}(r)$	Fonction de transfert de modulation d'une ouverture d'échantillonnage	1
$T_{imp}(r)$	Fonction de transfert de modulation d'un sous-système de capture d'image	1
$T_{lens}(r)$	Fonction de transfert de modulation du système optique, y compris d'éventuels filtres antirepliement du spectre	1
$T_{rf}(r)$	Fonction de transfert de modulation d'une fonction de reconstitution	1
$T_{sys}(r)$	Fonction de transfert de modulation d'un système de formation d'image échantillonné	1
u	Coordonnées du plan de référence	mm, mrad, degré

4 Relations théoriques

4.1 Transformée de Fourier de l'image de la fente objet (statique)

4.1.1 Cas général

Les étapes de formation de l'image dans un système optique généralisé échantillonné sont illustrées à la Figure 1. Les valeurs des paramètres applicables utilisés dans la présente Norme internationale sont spécifiées dans l'Article 3.



Légende

1 fente objet $F_{\text{slt}}(r)$

2 lentille OTF, $D_{\text{lens}}(r)/\text{MTF}$, $T_{\text{lens}}(r)$

3 ouvertures d'échantillonnage OTF $D_{\text{ap}}(r)/\text{MTF}$, $T_{\text{ap}}(r)$

4 fonction de reconstitution OTF, $D_{\text{rf}}(r)/\text{MTF}$, $T_{\text{rf}}(r)$

Figure 1 — Formation de l'image par un système optique échantillonné

Pour un système de formation d'image échantillonné, on obtient

$$F_{\text{img}}(r) = \left(\sum_k \left\{ F_{\text{in}}(r - k/a) \cdot \exp[i2\pi\phi(k/a)] \right\} \right) \cdot D_{\text{rf}}(r) \quad (1)$$

où

$$F_{\text{in}}(r) = F_{\text{slt}}(r) \cdot D_{\text{lens}}(r) \cdot D_{\text{ap}}(r) \quad (2)$$

k est un nombre entier (c'est-à-dire $k = 0, 1, 2, 3, \dots$);

ϕ est un terme de phase décrivant la position de la fente par rapport à la barrette d'échantillonnage.

NOTE De plus amples informations concernant les relations mathématiques existantes dans la formation d'image avec les systèmes échantillonnés figurent dans les Références [2] et [3], ainsi que dans la plupart des textes traitant des méthodes de transformation de Fourier.

4.1.2 Cas particuliers

4.1.2.1 Généralités

Les relations mentionnées dans le présent paragraphe sont exemptes de leurs dérivées (une brève explication de ces dérivées figure dans l'Annexe A).

4.1.2.2 Fréquence spatiale de coupure de $|F_{in}(r)|$ inférieure ou égale à la fréquence minimale d'échantillonnage $1/(2a)$

Dans cette condition et pour les fréquences spatiales inférieures à la fréquence minimale d'échantillonnage, le système agit comme un système non échantillonné et l'on obtient

$$|F_{img}(r)| = |F_{in}(r)| \cdot T_{rf}(r) \tag{3}$$

où

$$|F_{in}(r)| = |F_{slt}(r)| \cdot T_{lens}(r) \cdot T_{ap}(r) \tag{4}$$

de sorte que

$$T_{sys} = T_{lens} \cdot T_{ap} \cdot T_{rf} = |F_{img}(r)| / |F_{slt}(r)| \tag{5}$$

4.1.2.3 Fréquence spatiale de coupure de $|F_{in}(r)|$ inférieure ou égale à deux fois la fréquence de Nyquist (c'est-à-dire $1/a$)

Dans cette condition et pour les fréquences spatiales inférieures à deux fois la limite de Nyquist, on obtient une valeur crête et minimale pour $|F_{img}(r)|$, étant donné que la position de l'image de la fente par rapport aux ouvertures d'échantillonnage de la barrette est fluctuante. Les deux valeurs sont obtenues par

$$|F_{img}(r)|_{max} = \left[|F_{in}(r)| + |F_{in}(r - 1/a)| \right] \cdot T_{rf}(r) \tag{6}$$

et

$$|F_{img}(r)|_{min} = \left[|F_{in}(r)| - |F_{in}(r - 1/a)| \right] \cdot T_{rf}(r) \tag{7}$$

de sorte qu'il est possible de démontrer que les système MTF est donné par:

$$T_{sys}(r) = |F_{in}(r)| \cdot T_{rf}(r) / |F_{slt}(r)| = \frac{\left\{ |F_{img}(r)|_{max} + |F_{img}(r)|_{min} \right\}}{2 |F_{slt}(r)|} \quad \text{pour } r < 1/(2a) \tag{8}$$

et

$$T_{sys}(r) = \frac{\left\{ |F_{img}(r)|_{max} - |F_{img}(r)|_{min} \right\}}{2 |F_{slt}(r)|} \quad \text{pour } r > 1/(2a) \tag{9}$$

Il convient de souligner qu'en théorie, la position de la fente par rapport à la barrette d'échantillonnage peut être différente pour chaque valeur de la fréquence spatiale, r , lorsque l'on obtient $|F_{img}(r)|_{max}$ et $|F_{img}(r)|_{min}$. Cela peut cependant se produire uniquement si $L_{in}(u)$ est asymétrique, de sorte qu'il y a une variation (non linéaire) sensible de la fonction de transfert de phase associée à la fréquence spatiale. En pratique, l'effet sera limité et l'on peut supposer que les positions de la fente applicables sont identiques pour toutes les fréquences spatiales.