

## TP sur la formation des images

**Responsables :** Gérard Rousset et Frédéric Cassaing

[Gerard.Rousset@obspm.fr](mailto:Gerard.Rousset@obspm.fr), tél. 01 45 07 75 49  
[Frederic.Cassaing@onera.fr](mailto:Frederic.Cassaing@onera.fr), tél. 01 46 73 48 54  
[Aurelie.Bonnefois@onera.fr](mailto:Aurelie.Bonnefois@onera.fr), tél. 01 46 73 47 82  
Fax Observatoire : 01 45 07 79 17  
Fax ONERA : 01 46 73 41 71

### Lieu du déroulement du TP :

Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (ONERA)  
29 Avenue de la Division Leclerc BP 72  
92322 Châtillon Cedex

**Durée :** 1 journée

### Résumé :

L'enregistrement d'images est une des techniques les plus répandues dans le domaine de l'observation astronomique et spatiale pour acquérir des informations précieuses sur les objets d'intérêt à étudier. Ces images sont décrites à partir des principes physiques de l'optique dite de Fourier que nous proposons de mettre en évidence dans ce TP.

Un banc modulaire installé à l'ONERA permettra de réaliser plusieurs expérimentations qui devront être analysées par les étudiants.

Dans un premier temps, il s'agit d'étudier la fonction d'étalement de point (FEP) (ou encore réponse impulsionnelle) d'un système optique imageur obtenue à partir d'un point source : dans le cas parfait de la diffraction et en introduisant des dégradations par des aberrations simples. La fonction de transfert du système optique pourra aussi être calculée et analysée à partir de la FEP. Tout d'abord, on passera en revue plusieurs formes de diaphragme pupillaire afin de comprendre les propriétés de la diffraction qui lient plan image et plan pupille. Les lois de comportement simples seront déduites en analysant les cas particuliers de la tache d'Airy et des franges d'Young. On introduira ensuite des aberrations simples, comme une défocalisation, afin d'étudier les dégradations induites sur la FEP du système.

Dans un deuxième temps, des images simulant un objet étendu seront produites pour mettre en évidence et analyser la relation de convolution de l'objet par la FEP du système décrivant la formation des images, à partir de différents diaphragmes pupillaires.

### Avertissements :

- Il est demandé de bien estimer les erreurs commises sur toutes les mesures et d'en déduire les incertitudes correspondantes sur les paramètres calculés.
- Bien distinguer les *taches focales* des *tâches* que vous aurez à accomplir (mnémo : traduire en anglais), et ne pas oublier qu'une tache d'Airy se forme *sans* aberration.

## Formation des images

L'objet de ce TP est d'utiliser un banc optique modulaire permettant d'illustrer l'influence des paramètres clefs d'un instrument optique sur la formation des images et de l'interpréter comme décrite par un système linéaire.

### Principes :

Du fait de la linéarité de l'équation de propagation des ondes lumineuses dans la plupart des milieux (dit linéaires), le processus de formation d'une image peut être interprété comme une opération linéaire. Donc un instrument d'optique peut être décrit par la théorie des **systèmes linéaires**. Si le système est de plus **invariant par translation**, on peut introduire et utiliser les notions de **réponse impulsionnelle** et de **fonction de transfert** (transformée de Fourier de la réponse impulsionnelle). La réponse impulsionnelle est la réponse du système à une impulsion, appelée aussi « Dirac ». Alors la réponse du système à un signal d'entrée quelconque est donnée par le produit de convolution de ce signal par la réponse impulsionnelle. Dans l'espace de Fourier, la transformée de Fourier du signal d'entrée (son spectre) est simplement multipliée par la fonction transfert du système, c'est-à-dire filtré par un filtre passe bas dans le cas de l'optique, pour donner le spectre de la réponse.

Pour former l'image d'un objet, nous allons utiliser une lentille (ou un jeu de lentilles) qui permet de conjuguer le plan d'observation avec l'objet. Dans ce plan d'observation la distribution d'intensité lumineuse est appelée image et est enregistrée par une caméra équipée d'une matrice de détecteurs bidimensionnelle (appelée CCD). L'image est ensuite visualisée sur un écran vidéo et peut être numérisée sur un PC.

Un objet peut être interprété comme étant la somme d'une infinité de points sources, la lentille image chaque point dans le plan d'observation (voir Figure 1). **L'image de l'objet est donc la superposition des images individuelles de tous les points de l'objet.** Si l'image de chaque point, normalisée de l'intensité émise en ce point, est identique quel que soit le point, on dit que le système optique est « linéaire invariant par translation » (isoplanétique pour les opticiens), c'est-à-dire que l'image est donnée par la convolution de la distribution d'intensité dans l'objet par l'image d'un point. L'image d'un point est appelée « réponse impulsionnelle » du système optique linéaire. Dans l'interprétation de l'optique géométrique si le système n'a pas d'aberrations, l'image d'un point est un point. Cependant dans bien des cas et toujours sans aberration, il faut tenir compte des effets dus à la diffraction, et donc la réponse impulsionnelle n'est plus un point mais une fonction bidimensionnelle de largeur non nulle dont nous allons étudier le comportement. Cette réponse impulsionnelle est appelée aussi « **fonction d'étalement de point** » (**FEP**) par les opticiens, ou « point spread function » (PSF) en anglais. Une image optique peut ainsi être décrite comme le **produit de convolution de la répartition d'intensité de l'objet par la FEP du système optique.** L'image alors obtenue est une version « lissée » de la distribution d'intensité dans l'objet, il s'agit du filtrage des hautes fréquences spatiales de l'objet par le système optique linéaire. La notion de fonction de transfert associée à la réponse impulsionnelle sera donc aussi utile pour l'interprétation des images dans le domaine des fréquences spatiales.

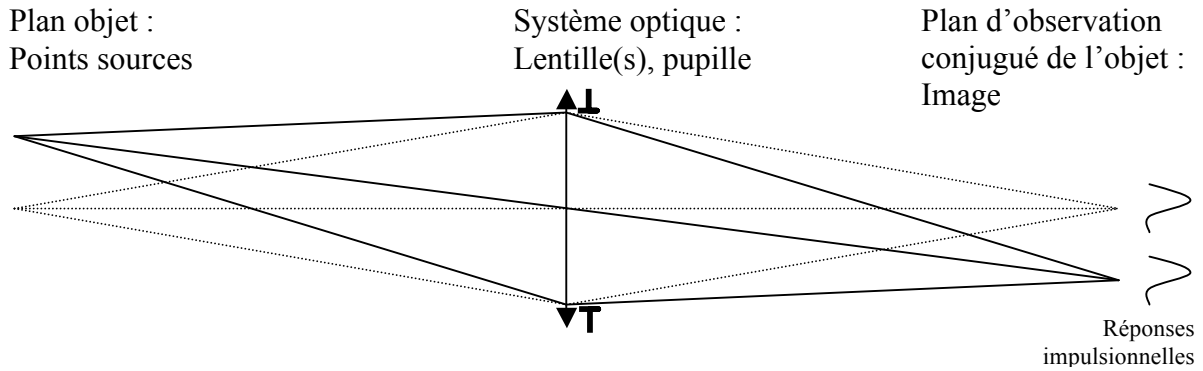


Figure 1 : principe de la formation de l'image d'un objet par un système optique

Dans le cas où un point source unique est utilisé comme objet, on enregistre donc la FEP du système optique. Cette FEP est caractérisée par la taille et la forme des faisceaux optiques entrant dans le système mais aussi par la présence ou non d'aberrations optiques dans le système.

**Première expérimentation à réaliser**  
**Cas de l'imagerie d'un point source sans aberration.**

**Objectif**

Nous considérons tout d'abord un système optique parfait sans aberration (sans perturbation des ondes optiques). La FEP va être directement déterminée par la forme du diaphragme définissant la taille du faisceau optique, appelé « **pupille** » du système. Une propriété importante des lentilles est de pouvoir réaliser une transformation de Fourier entre le champ électromagnétique dans le plan pupille et le champ projeté dans le plan focal. Le champ ainsi projeté à distance finie par la lentille est donné par l'**approximation de Fraunhofer** de la diffraction du champ dans la pupille, décrivant le résultat de sa propagation entre le plan pupille et le plan focal à travers le système optique (voir Figure 2).

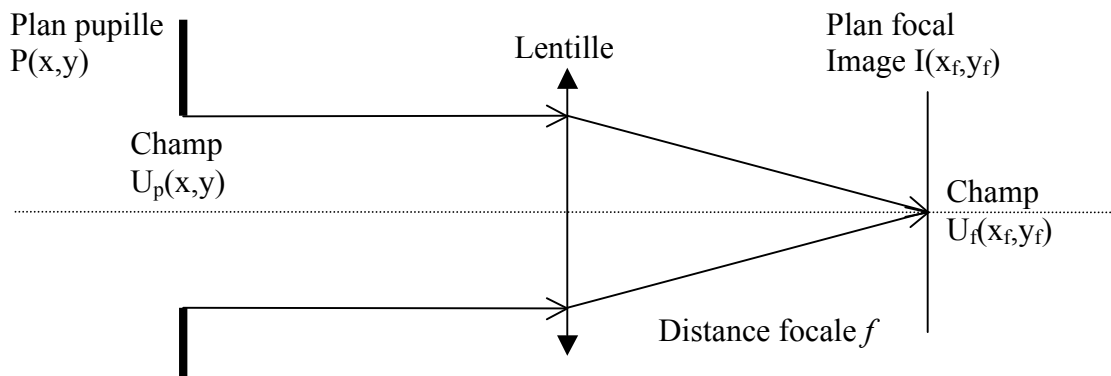


Figure 2 : Schéma de principe permettant le calcul de la diffraction de Fraunhofer donnée par une lentille.

On se place en lumière monochromatique,  $\lambda$  est la longueur d'onde. Soit  $P(x,y)$  la fonction pupillaire donnant la forme du faisceau optique transmis par le diaphragme avant la lentille :  $P(x,y) = 1$  à l'intérieur de l'ouverture, 0 ailleurs.

L'amplitude du champ dans la pupille s'écrit pour une onde plane incidente d'amplitude unité (point source à l'infini dans l'espace d'entrée de la lentille) :

$$U_p(x,y) = P(x,y)$$

L'amplitude du champ dans le plan focal s'écrit alors :

$$U_f(x_f, y_f) \propto TF(U_p(x, y))$$

$$U_f(x_f, y_f) \propto \iint_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (xx_f + yy_f)\right] dx dy$$

où  $f$  est la distance focale.

L'intensité lumineuse enregistrée est donnée par le module carré du champ électromagnétique dans le plan d'observation. On a donc :

$$I(x_f, y_f) \propto \left| \iint_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (xx_f + yy_f)\right] dx dy \right|^2$$

L'image représente la figure de diffraction de Fraunhofer de la pupille du système  $P(x, y)$ .

Dans la cas d'une pupille circulaire, l'image d'un point source est la tache d'Airy donnée par :

$$I(x_f, y_f) \propto \left[ \frac{2J_1(\pi dr / \lambda f)}{\pi dr / \lambda f} \right]^2$$

où  $d$  est le diamètre de la pupille et  $r$  le module du vecteur position dans le plan d'observation. On note que la largeur de la tache d'Airy est directement reliée au diamètre de la pupille, à la longueur d'onde et à la focale de l'instrument. Sur la Figure 3 est présentée une coupe de  $I(x, y)$ . Le premier anneau noir est à une position :  $r = 1,22\lambda f / d$

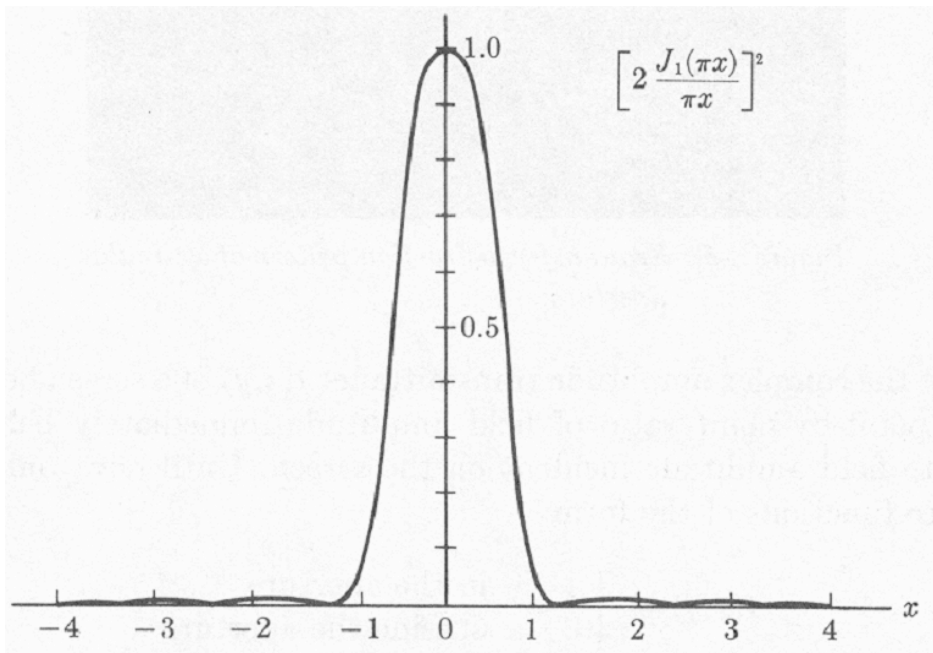


Figure 3 : coupe de la tache d'Airy, la FEP d'une pupille circulaire.

La fonction de transfert du système est la transformée de Fourier de  $I(x, y)$  (FEP). Par les propriétés de la transformée de Fourier, c'est aussi l'**autocorrélation** de  $P(x, y)$ .

On appelle « **résolution angulaire du système** optique », l'angle  $\lambda/d$ , relié à la largeur à mi-hauteur de la tache d'Airy (sans le coefficient 1,22 !)

### Moyen

Le banc est équipé : d'un trou source éclairé par un laser ( $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ ), simulant un point source, au foyer d'une lentille (focale 1 m), d'un diaphragme pupillaire ajustable sur le trajet en faisceau parallèle, de lames séparatrices permettant d'utiliser différentes surfaces réfléchissantes, d'une lentille permettant de former l'image (focale  $f = 0,50 \text{ m}$ ) et d'une caméra équipée d'un objectif de microscope de grandissement 10 (caméra de  $384 \times 288$  pixels de pas physique  $22 \mu\text{m}$ , numérisée sur  $768 \times 576$  points).

### Traitement des images :

On peut enregistrer les images sur un PC, et par un code idl disponible calculer leur transformée de Fourier et des coupes  $x$  ou  $y$  pour en faire une analyse quantitative.

### Travail à réaliser :

1. A partir des explications données en début de séance, comprendre le banc optique en faisant un schéma de principe et en indiquant les éléments clefs.
2. Pour une taille donnée de diaphragme pupillaire circulaire, observer la tache d'Airy, ensuite faire varier la taille du diaphragme et interpréter les variations observées de la largeur de la tache d'Airy et de la largeur de la fonction de transfert associée.
3. Comparer la valeur de la largeur mesurée sur la coupe de l'image à celle calculée à partir des dimensions physiques données ci-dessus.
4. Mettre un diaphragme à deux trous circulaires : interpréter l'image, pourquoi voit-on des franges ? Calculer et interpréter la fonction de transfert associée.

### Deuxième expérimentation à réaliser

#### Cas de l'imagerie d'un point source avec aberrations optiques.

### Objectif

La section précédente supposait le système optique parfaitement **stigmatique**, c'est-à-dire tel que le point image  $A'$  est parfaitement conjugué du point objet  $A$  (Figure 4/gauche). Ceci peut s'illustrer de deux manières :

- interprétation corpusculaire : tous les **rayons** issus de  $A$  convergent exactement en  $A'$ .
- interprétation ondulatoire : la **surface d'onde** sphérique  $\Sigma_0$  qui diverge de  $A$  se transforme en une surface d'onde sphérique  $\Sigma'_0$  qui converge en  $A'$ .

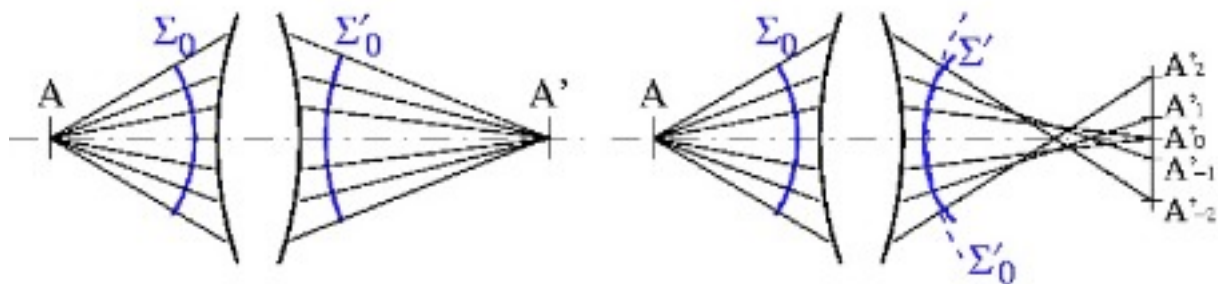


Figure 4 : formation de l'image d'un point avec un système optique stigmatique (à gauche) et non stigmatique (à droite).

Ces interprétations sont équivalentes car les rayons lumineux sont orthogonaux à la surface d'onde (cf Figure 5). Ceci permet de relier la courbure d'une onde à la distance de focalisation.

Une onde sphérique convergeant en un point C à une distance d peut être caractérisée par des rayons PC ou par l'équation de la surface d'onde  $\Sigma$ , décrite par la variation de l'écart  $\Delta z$  entre un point de  $\Sigma$  et un plan de référence (le plan  $z=0$ ). Si l'ouverture est faible, cet écart s'écrit (au 2<sup>ème</sup> ordre)  $\Delta z \approx r^2/2d$ , où  $(r, \Delta z)$  sont les coordonnées radiale et longitudinale d'un point de  $\Sigma$ .

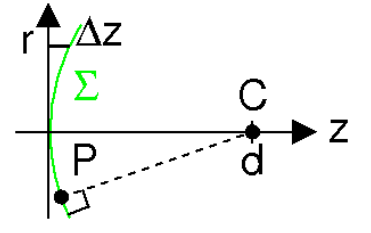


Figure 5 : équation d'une surface d'onde convergente et lien avec les rayons.

Les surfaces stigmatiques les plus fréquemment utilisées sont :

- le miroir plan (stigmatique pour tout point de l'espace),
- les coniques (stigmatiques en leurs deux foyers) : parabole, ellipse (cercle), hyperbole.

Dans la très grande majorité des systèmes, le stigmatisme n'est pas parfait. On dit que le système présente des **aberrations**. L'image d'un point A n'est alors plus un point A' mais une tache résultant des points d'intersection  $A'_i$  de tous les rayons avec le plan focal (Figure 4/droite). Les sources d'aberration sont nombreuses :

- l'utilisation de surfaces non stigmatiques (souvent sphériques par commodité),
- les défauts de surface (polissage, contraintes mécaniques exercées par la monture),
- l'extension de l'objet : le stigmatisme peut varier avec la position des points dans le champ,
- l'homogénéité du milieu traversé (verre, atmosphère),
- l'alignement relatif des optiques (aberrations dites d'excentrement).

On peut donc retenir que *tout système optique présente des aberrations*. L'art de la conception et de la réalisation optique consiste à les minimiser, de manière à ce que l'étalement des rayons lumineux soit négligeable devant la résolution du système (fixée selon les cas par la diffraction, la taille du pixel, le grain de la pellicule ou les cellules de l'oeil).

L'écart aberrant  $\Delta$  entre  $\Sigma'$  et la surface d'onde sphérique parfaite  $\Sigma'_0$  issue de l'optique géométrique étant faible, les aberrations sont souvent calculées par une approche perturbative à partir des résultats de l'optique géométrique. Ainsi, à partir d'un rayon défini par l'optique géométrique, on peut utiliser les deux théorèmes suivants :

- lors d'une propagation libre, l'écart aberrant  $\Delta = \Sigma'_0 - \Sigma'$  se conserve le long d'un rayon,
- lors de la traversée de plusieurs systèmes aberrants, les écarts aberrants s'ajoutent.

Dans un système bien conçu, les aberrations sont minimisées et à peu près constantes dans le champ. Le système est alors dit **isoplanétique** (invariant par translation) et ce qui simplifie le calcul des images (cf troisième partie), même si la FEP est dégradée (contrairement à la première partie). Dans le cas inverse, il est dit anisoplanétique. Pour un système isoplanétique, on exprime les aberrations dans un plan commun à tous les points du champ : **la pupille**. Comme les aberrations résultent de perturbations le long du chemin parcouru par les rayons (écarts aberrants), c'est la phase de l'onde –et non son amplitude– qui est modifiée. On peut donc calculer la FEP en ajoutant dans l'intégrale de Fraunhofer un terme de phase  $\Phi(x,y)$  qui traduit les aberrations du système optique. L'amplitude du champ dans la pupille s'écrit pour une onde initialement plane incidente sur la pupille :

$$U_a(x,y) = P(x,y) \exp(i\Phi(x,y)) \quad \text{où} \quad \Phi(x,y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(x,y)$$

L'intensité dans le plan focal s'écrit alors à partir de la transformée de Fourier de ce champ :

$$I(x_f, y_f) \propto \left| \iint_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) \exp(i\Phi(x, y)) \exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda f}(xx_f + yy_f)\right] dx dy \right|^2 = FEP(x_f, y_f)$$

La fonction de transfert optique est également modifiée par l'aberration : elle est atténuée et peut devenir complexe.

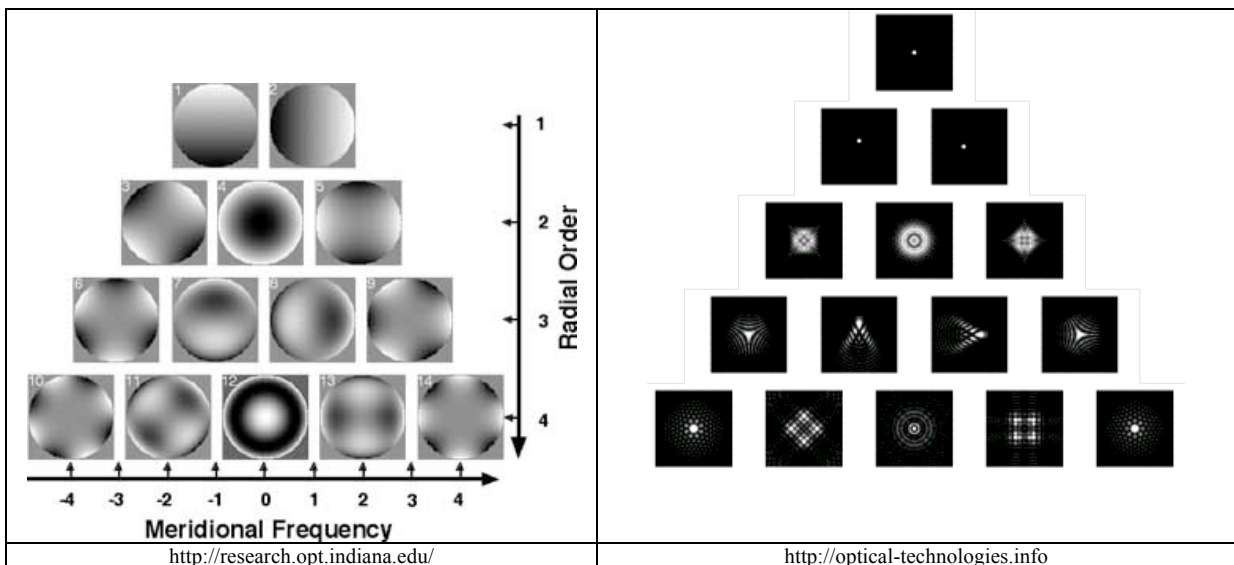
Cette équation montre comment la FEP dépend (non linéairement) des aberrations. Cette relation peut s'inverser : on appelle *phase retrieval* la mesure de front d'onde par analyse de l'image focale d'un point source et *phase diversity (diversité de phase)* l'analyse de plusieurs images (au voisinage du plan focal, avec des aberrations supplémentaires connues) d'un objet qui peut être étendu.

### Complément de cours

Il est pratique de décomposer la surface d'onde  $\Phi(x, y)$  sur une base de modes orthonormaux. Pour la plupart des systèmes, à pupille circulaire pleine, ces modes sont les polynômes de Zernike  $Z_i(x, y)$ , qui correspondent aux principales aberrations définies par les opticiens :

- $Z_1 = 1$  [piston] traduit un retard pur, invisible en optique (hors interférométrie)
- $Z_2 = 2x$  et  $Z_3 = 2y$  [basculements ou tip/tilt] traduisent la direction de l'onde
- $Z_4 = 3^{1/2}(2r^2 - 1)$  [défocalisation] indique la distance de focalisation
- $Z_5 = 6^{1/2}r^2 \sin 2\theta$  et  $Z_6 = 6^{1/2}r^2 \cos 2\theta$  [astigmatisme] traduisent des optiques “cylindriques” (différence de foyer entre X et Y)
- $Z_7 = 8^{1/2}(2r^3 - 2r)\sin\theta$  et  $Z_8 = 8^{1/2}(2r^3 - 2r)\cos\theta$  [coma] produisent une tache en forme d'aigrette
- $Z_9 = 8^{1/2}r^3 \sin 3\theta$  ( $Z_{10} = 8^{1/2}r^3 \cos 3\theta$ ) [coma triple] résultent souvent de contraintes de serrage
- $Z_{11} = 5^{1/2}(6r^4 - 6r^2 + 1)$  [aberration sphérique] traduit la perte de stigmatisme sur l'axe.

Les aberrations commencent à partir de  $Z_5$  car les premiers modes ( $Z_2$  à  $Z_4$ ) correspondent à la position latérale et longitudinale de la FEP, c'est-à-dire à l'optique géométrique.



### Moyens

On dispose de platines de translation (figure 6) sous la caméra, d'une lame à faces planes et parallèles orientable sur le faisceau convergent, d'un miroir déformé sur le faisceau collimaté.

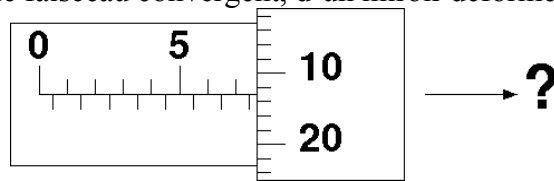


Figure 6 : lecture de la position de la caméra sur le vernier de la platine de translation.

### Travail à réaliser

**Rappel : certaines grandeurs sont signées, veillez à bien exploiter cette information !**

- 1) Prise en main du matériel : comment avancer/reculer la caméra ?
- 2) Effet d'une défocalisation  
Revenir au masque circulaire unique ( $D=2$  cm). Défocaliser progressivement la caméra.
  - a) Observer la modification de l'image et l'interpréter. Commenter ces résultats par rapport à une interprétation purement de tracé de rayon (optique géométrique).
  - b) Tracer (idl) la fonction de transfert dans un plan défocalisé, comparer au cas sans aberration, interpréter.
  - c) Installer un masque pupillaire à deux trous, qu'observez-vous ? Interprétez géométriquement et par le calcul.
- 3) Effet d'une lame dans un faisceau convergent  
Prendre un masque circulaire unique ( $D=2$ cm) et se placer au meilleur foyer.
  - a) Insérer la lame de verre fournie juste avant la caméra et perpendiculairement à l'axe optique. Que se passe-t-il ? Reconnaissez-vous l'aberration introduite ? Comment la corriger ?
  - b) Faire tourner lentement la lame. Que se passe-t-il ? Observer la modification de l'image et l'interpréter.
  - c) Une fois l'aberration bien visible, noter le tirage de la caméra. Faire varier le diamètre du masque pupillaire, que constatez-vous ? Faire varier la distance de focalisation, que se passe-t-il ? Identifier trois positions caractéristiques et donner la forme de la surface d'onde associée. Quel est le meilleur foyer ?
  - d) Illustration (à ne pas rédiger) : Que se passe-t-il si l'on insère le masque à deux trous dans le faisceau ?
- 4) Illustration (à ne pas rédiger) : Analyse de surface d'onde par image(s) focale(s)  
Remettre la lame perpendiculaire au faisceau (**en déplaçant la caméra pour suivre l'image**) puis l'enlever. Masquer le miroir plan et observer l'image donnée par le miroir déformé. Quelle est la forme du miroir ?



### **Troisième expérimentation à réaliser** **Cas de l'imagerie d'un objet multi-point**

#### **Objectif**

L'image de l'objet est donnée par la convolution de la distribution d'intensité dans l'objet par l'image d'un point, c'est-à-dire la FEP étudiée précédemment.

$$I(x_f, y_f) = O(x_f, y_f) \otimes FEP(x_f, y_f) = \iint O(x_o, y_o) FEP(x_f - x_o, y_f - y_o) dx_o dy_o$$

Cette relation peut aussi s'écrire dans le plan de Fourier de l'image et peut alors s'interpréter comme le filtrage du spectre spatial de l'objet par la fonction de transfert optique qui n'est rien d'autre que la transformée de Fourier de la FEP.

#### **Moyen**

On utilise maintenant une lame séparatrice devant le miroir plan pour créer un faisceau réfléchi supplémentaire ; et par rotation de la lame, on obtient au moins deux faisceaux angulairement séparés (simulant deux points sources à l'infini).

#### **Travail à réaliser**

Prendre à un masque pupillaire circulaire unique.

1. Qu'observez-vous sur la caméra ? Expliquer qu'il s'agit bien d'une simulation de deux (ou trois ou même plus car réflexions multiples) points sources. Expliquer comment est mise en évidence la relation de convolution sur ce cas très simple. Faire varier les caractéristiques de la FEP si nécessaire.
2. Faire varier l'angle de la séparatrice et donc du faisceau réfléchi en rapprochant les deux (ou trois ou...) images, mettre en évidence la limite de résolution du système par la mesure de la limite de séparation de deux images (critère de Rayleigh). En donner une formulation en fonction des paramètres du système.
3. Faire varier la taille du masque pupillaire et discuter de la notion de résolution plus ou moins importante d'une pupille.
4. Mettre en évidence la notion de filtrage des fréquences spatiales après calcul sous « idl » des transformées de Fourier des images. Dans l'espace de Fourier, écrire la relation de formation des images pour vous aider.

**Fin du TP**

**\*\* Mémo informatique \*\***

Vous disposez de : 2 PC, un calculateur UNIX, un espace disque commun (compte étudiant)

- À gauche : PC "bureautique" (Lynx) pour rédiger le compte-rendu et acquérir les images,
- À droite : PC "scientifique" (cyrus), pour traiter les images sur le calculateur UNIX.

**Acquisition d'images par Lynx :**

- Vérifier que la caméra fonctionne bien à l'aide du moniteur vidéo que l'on pourra laisser allumé pour visualiser les réglages.
- Ouvrir une fenêtre *Explorateur de fichiers* sur le compte étudiant :
  - Cliquer sur *Poste de travail* puis sur le *lecteur réseau étudiant (Z:)*
  - Aller dans le dossier *M2PRO-OSAE/YYYY-MM-JJ*.  
C'est dans ce répertoire que seront écrits les fichiers : cette fenêtre permettra d'y faire du tri (création de sous-répertoires par exemple).
- Lancer l'interface labview (icône *Measurement & Automation* en haut à gauche du bureau)
  - Double-cliquer sur *périphériques et interfaces* puis *NI-IMAQ-Devices*
  - Double-cliquer sur *img0: IMAQ PCI-1405* puis sur *Channel 0:PAL*
- Mode d'emploi de l'interface labview
  - le bouton "snap" permet de prendre une image
  - le bouton "grap" permet l'acquisition continue (mode vidéo)
  - pour (dé)zoomer, (shift-)cliquer sur un point de l'écran
  - possibilité de changer la table de couleur : par clic droit / palette
  - l'affichage de l'histogramme permet d'ajuster la source à la dynamique de la caméra
  - le bouton "save image" permet de sauver l'image affichée à l'écran.  
➔ sauver dans le format TIF uniquement pour l'exploitation sous IDL  
Sauver dans le répertoire du jour et vérifier que le fichier apparaît dans l'explorateur

**Exploitation des images (sur l'un ou l'autre des 2 PCs) :**

- Lancer et configurer l'émulateur de terminal X
  - Sur Lynx :** *Cygwin* (icône en haut à gauche)
    - Dans la fenêtre terminal qui apparaît, taper `startx`
    - Dans la fenêtre terminal qui apparaît, taper `xhost.exe +`
    - Se connecter sur le calculateur UNIX « dota-monaco » dans le compte étudiant :
    - Taper : `ssh -X etudiant@dota-monaco` puis le mot de passe `!etudiant`
    - Configurer l'affichage par `sd 125.1.18.204`
  - Sur Cyrus :** lancer `xming` puis `putty` et cliquer sur `dota-monaco` (user:etudiant, !etudiant)
- Aller dans le répertoire dédié à votre TP
  - Taper selon la date du TP : `cd M2PRO-OSAE/YYYY-MM-JJ`
- Lancer le logiciel de traitement IDL : `idl`
  - Configurer `idl` par la commande `device, decomposed=0`
- Sous IDL lancer la "CALCulette à IMages" : `calcim`
  - entrer le nom d'un fichier de fond qui sera soustrait à l'image
  - utiliser les 4 fenêtres graphiques grâce au menu affiché, permettant de lire/sauver des images, effectuer des TF, des coupes et des vues 3D.
  - les images sont recentrées automatiquement et font 256x256 pixels dans `calcim`.
  - le nom des images sauvées est automatique (HH-MM-SS), à vous de bien le noter sur le cahier de manip.
  -