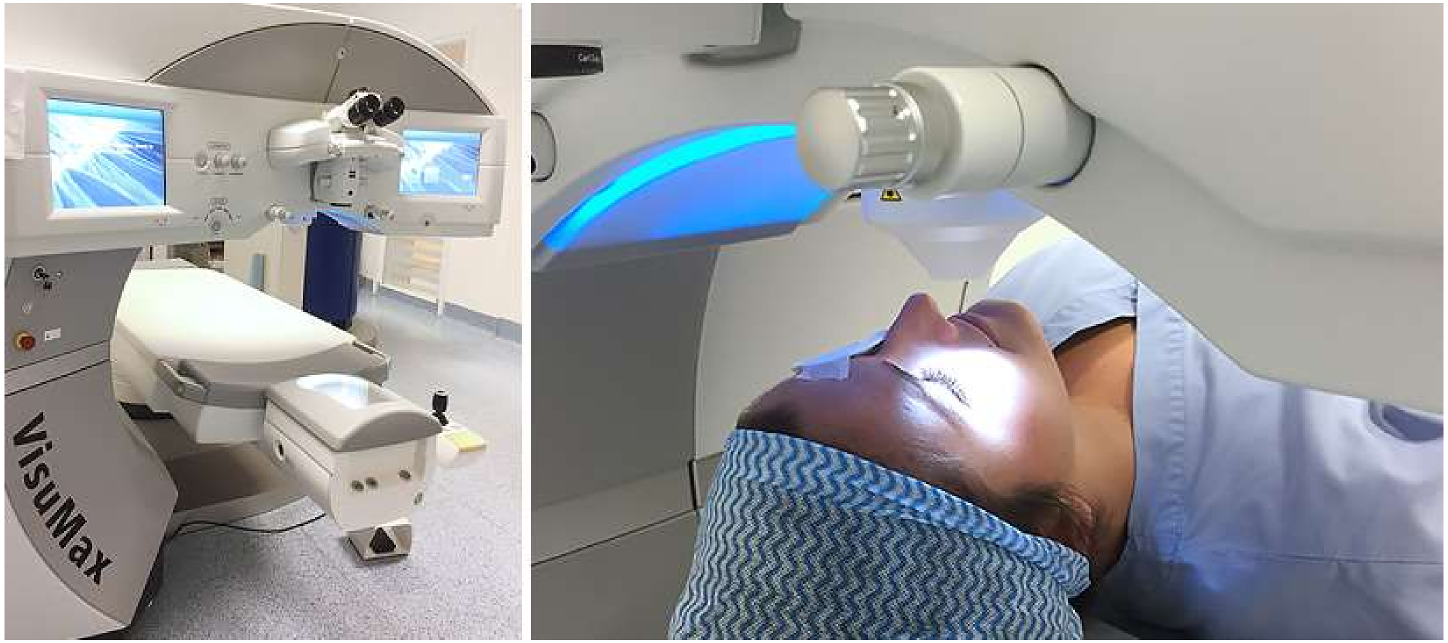
Mesure des défauts de l’œil

Objectifs

Opérations laser : besoin de précision

⇒ Mesures des défauts de l'œil



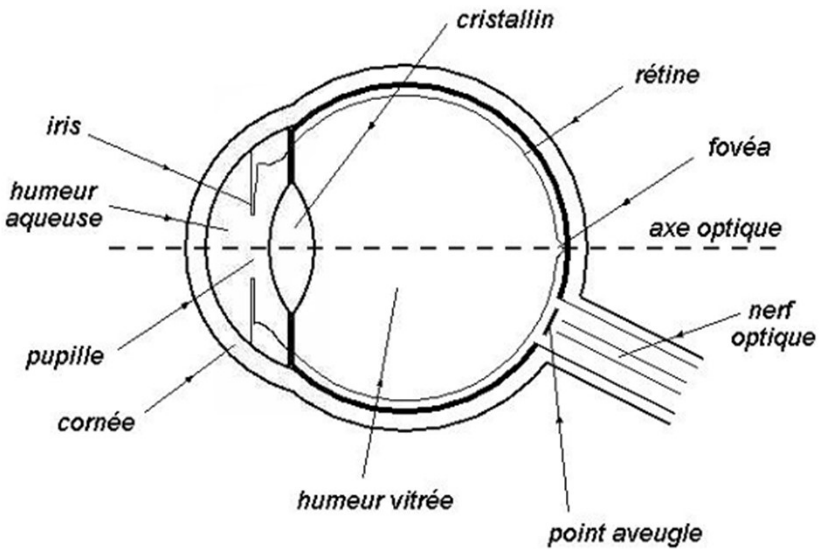
Source : cliniquelamartine.fr

Plan

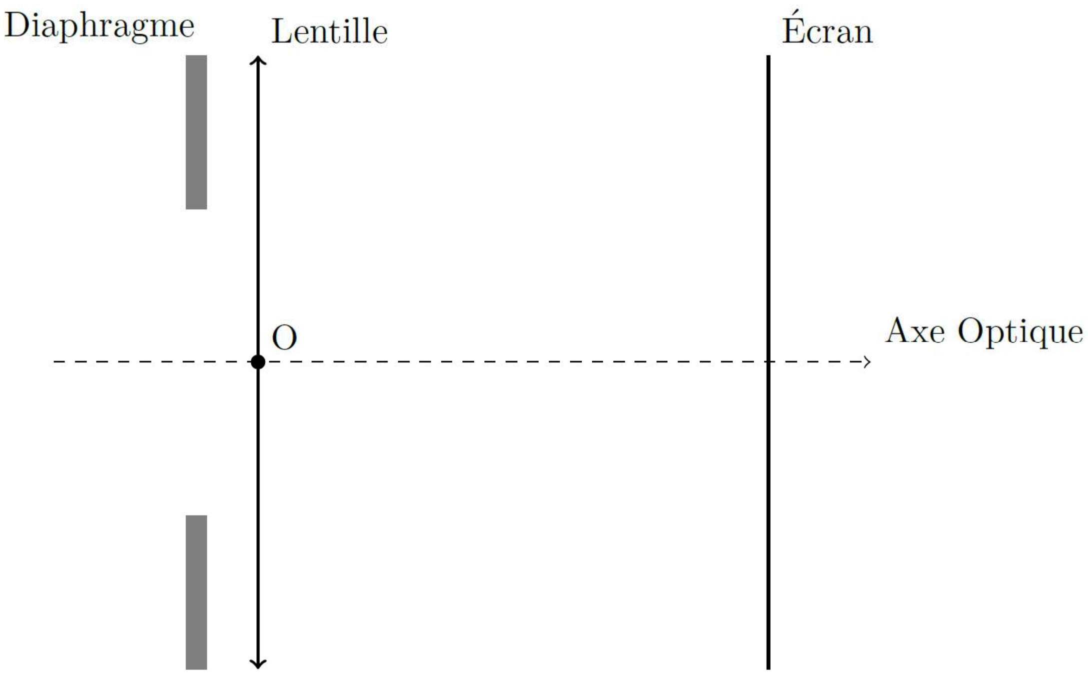
0. Introduction
I. Mise en évidence de la déformation d’un front d’onde de manière simple
   a) Expérience
   b) Simulation
II. Mesure de la déformation d’un front d’onde type Shack-Hartmann
   a) Expérience
   b) Résultats obtenus
III. Traitement informatique du front d’onde reçu
   a) Détermination du front d’onde aux points d’échantillonnage
   b) Interpolation de Lagrange
   c) Utilisation des Polynômes de Zernike comme base pour représenter le front d’onde

0. Introduction
a) Présentation générale

L'œil



b) Modélisation de l’œil



Modèle plan de l’oeil

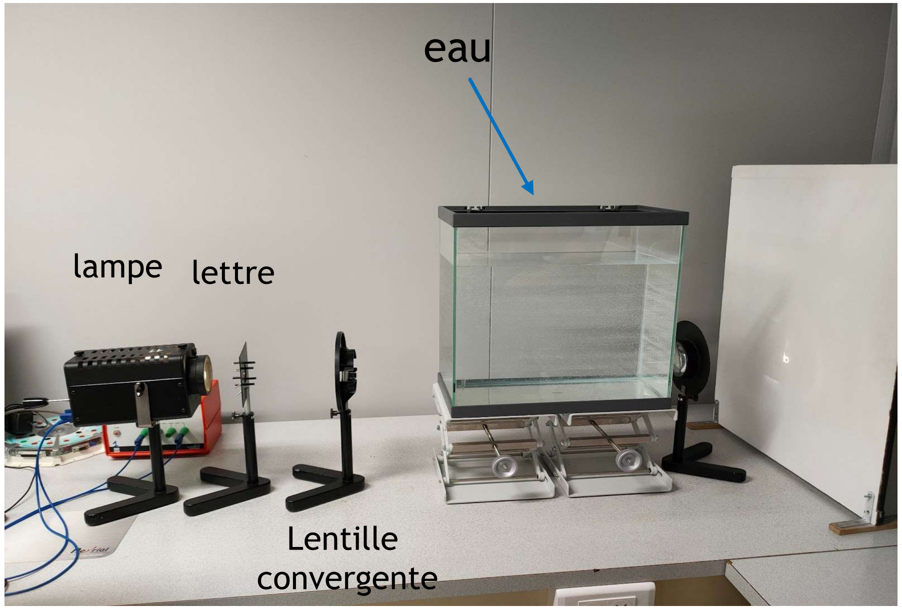
c) Différents défauts de l'œil

Défauts classiques	Défauts de haut degré
- Myopie - Hypermétropie - Astigmatisme - Presbytie…	- Inhomogénéités dans les humeurs - Défauts du cristallin (Cornée déformée)

I. Mise en évidence de la déformation d’un front d’onde par les inhomogénéités

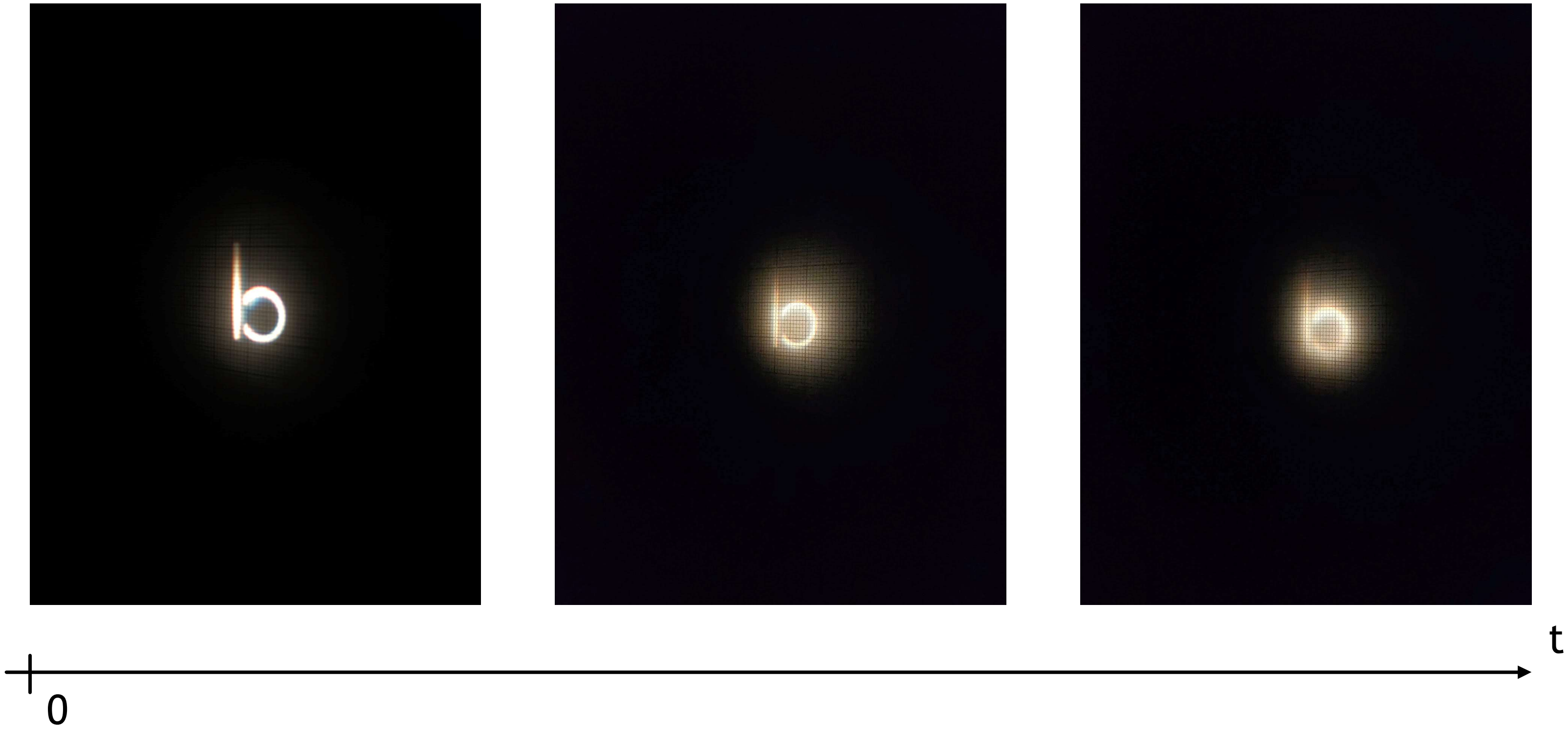
a) Expérience

Montage



<u>À t=0 :</u> Ajout d’eau concentrée en sucre → **Milieu Hétérogène**

<u>Image observée :</u>



<u>Deux phénomènes entrent en jeu ici :</u>

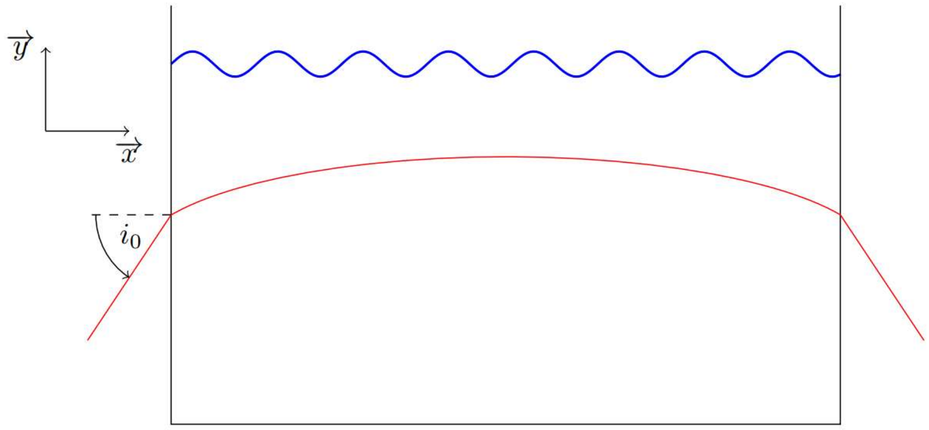
- La réfraction
- La différence de temps de parcours

I. Mise en évidence de la déformation d'un front d'onde par les inhomogénéités

a) Expérience

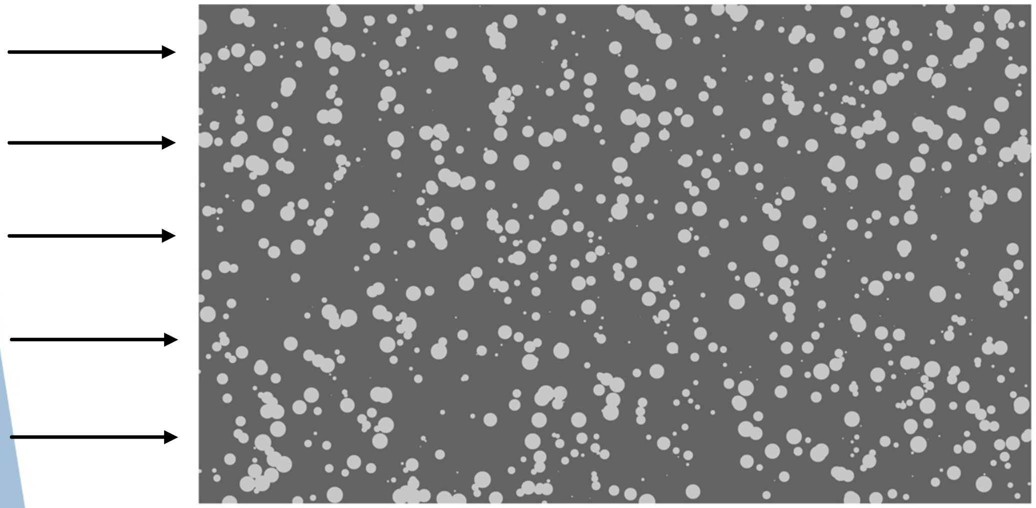
<u>Variation de y dûe à la réfraction :</u>

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \tan(i(x)) = \frac{n_0 \sin(i_0)}{\sqrt{n(x)^2 - n_0^2 \sin^2(i_0)}}$$

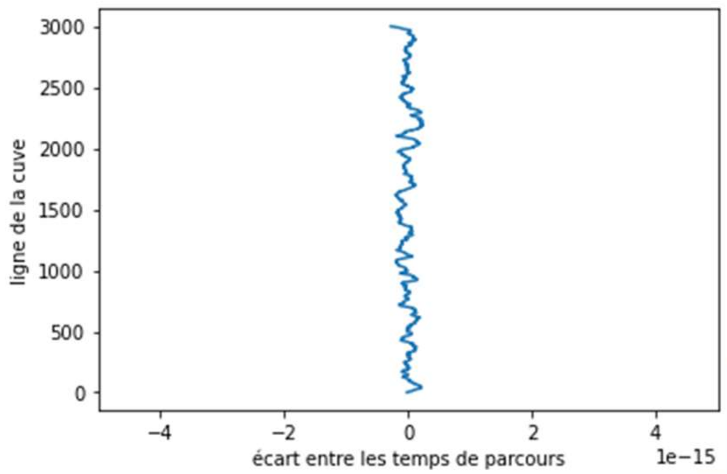


b) Simulation : estimation du temps de parcours

Lumière en phase

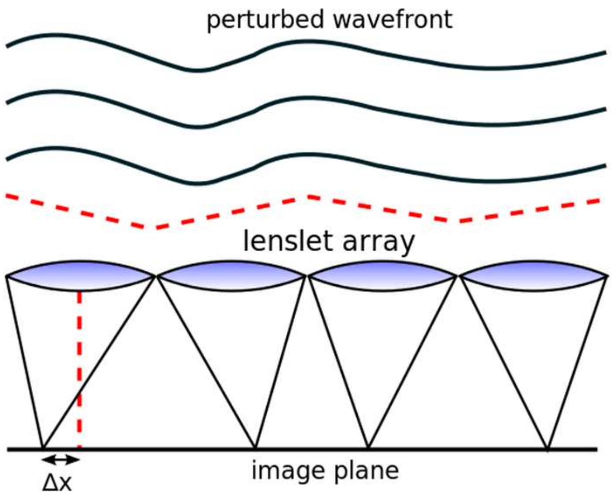


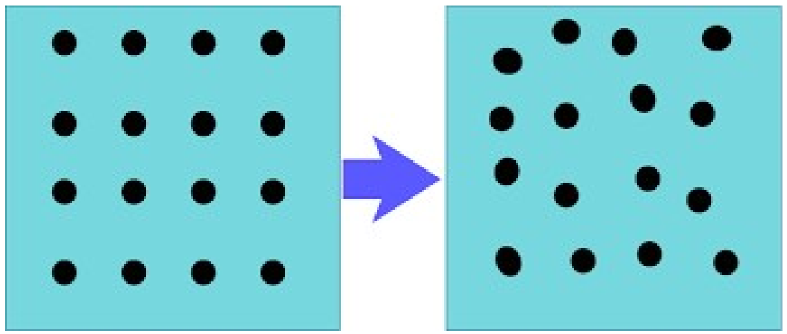
Simulation des inhomogénéités



Front d'onde après traversé de la cuve
(décalage en fonction du temps)
Rectangle rouge pour ce qui
nous intéresse

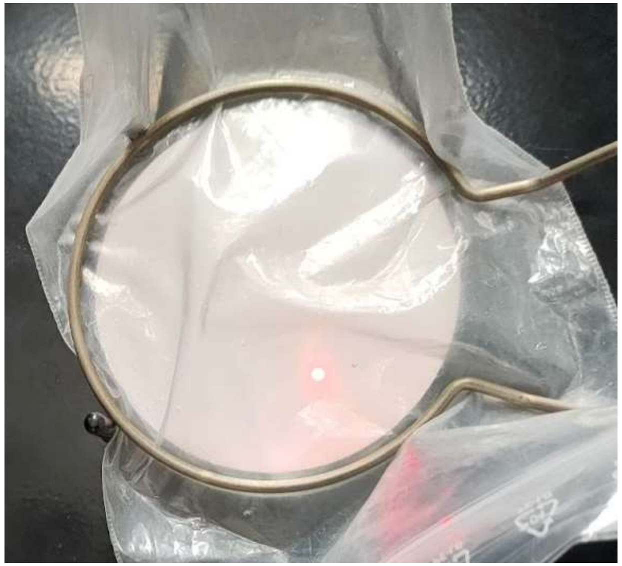
II. Mesure de la déformation d’un front d’onde type Shack-Hartmann



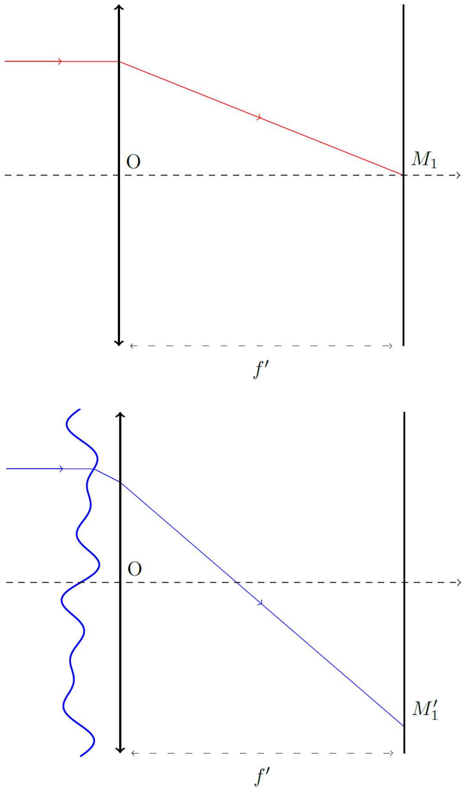


Positions idéales des points   Positions réelles des points

a) Expérience



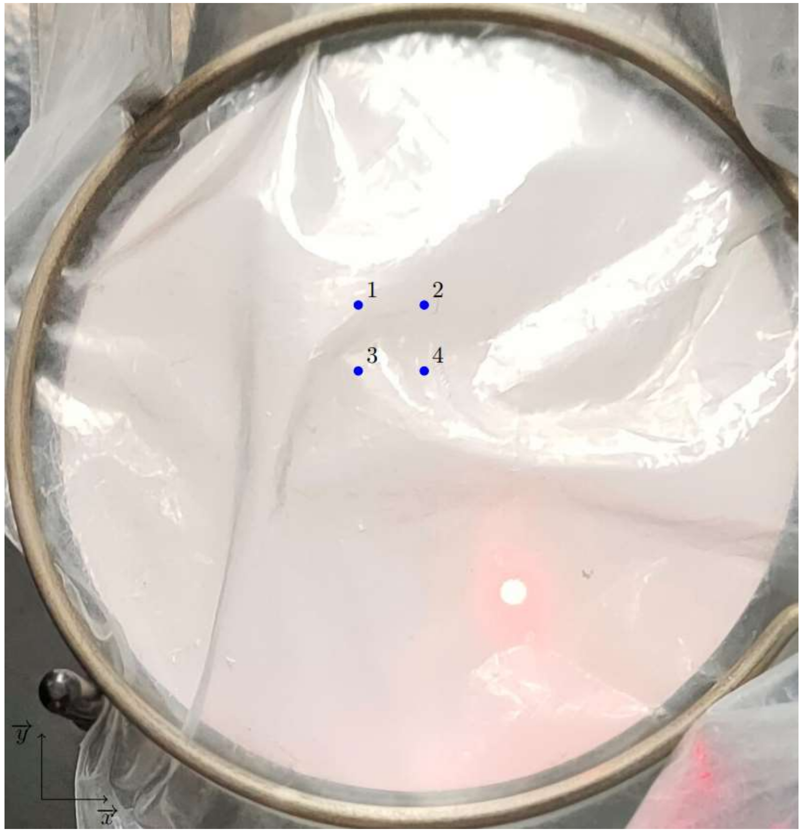
Observation :
Le Rayon est dévié par le plastique par rapport à une trajectoire idéale



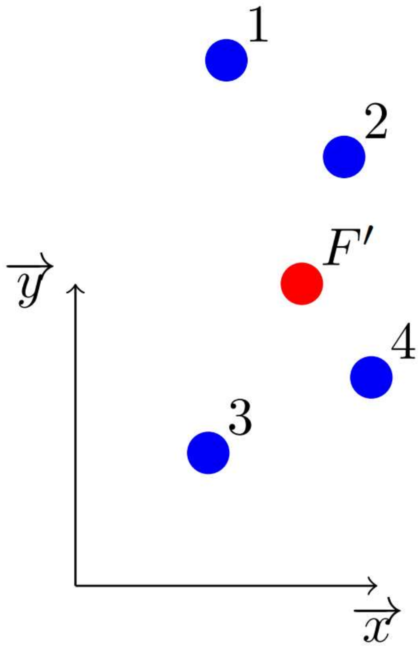
Montage :
- Laser rouge
- Lentille convergente
- Plastique déformable

b) Résultats de l’expérience

Rayon arrivant sur la lentille

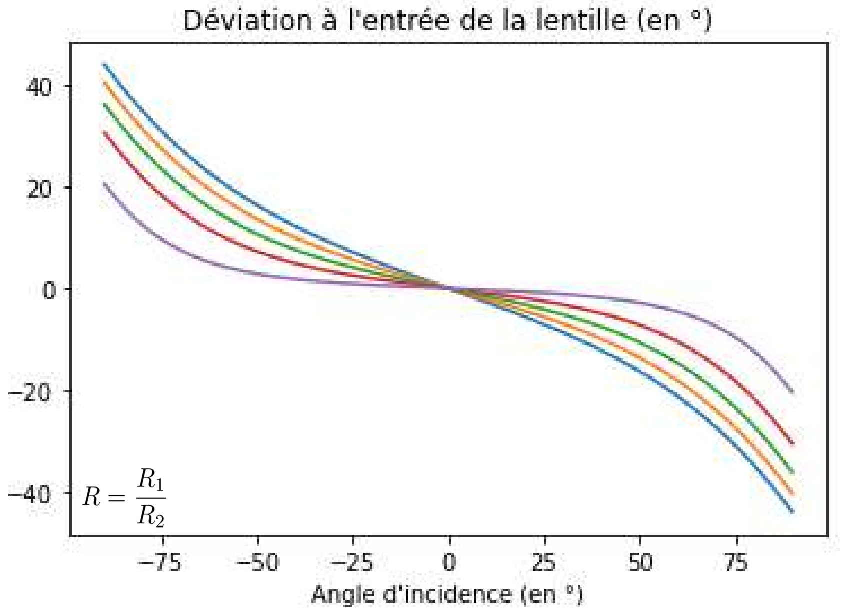


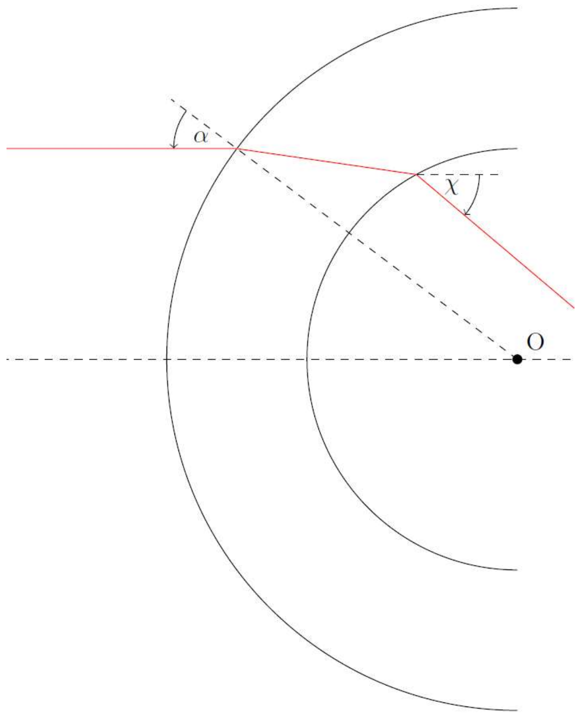
Rayon arrivant dans le plan focal image



Modélisation de la déviation du faisceau

On assimile localement le pochon à deux sphères concentriques de rayon différent



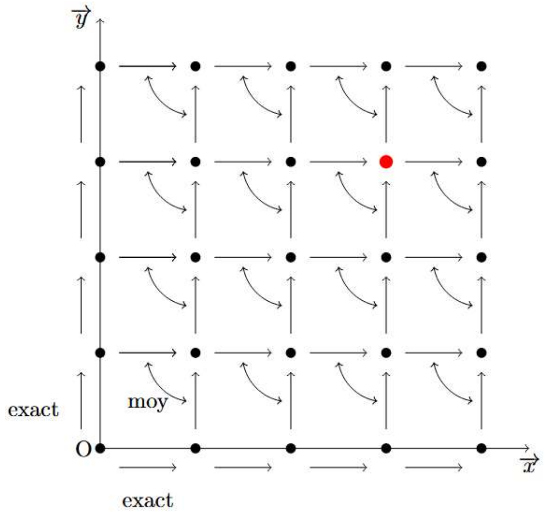


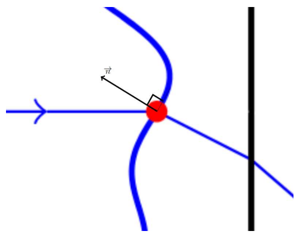
III. Traitement informatique du front d’onde reçu

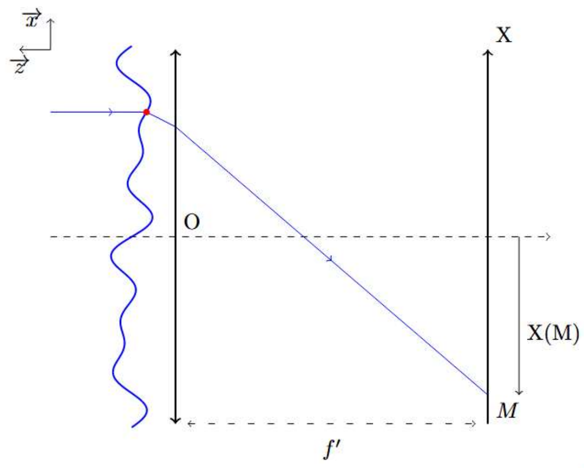
a) Détermination du front d’onde aux points d’échantillonnage

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{-X(M)}{f'} \qquad \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{-Y(M)}{f'}$$

$$z(i,j) = \frac{1}{2}\left[z(i-1,j) + \frac{\partial z}{\partial x}(i-1,j)\delta x + z(i,j-1) + \frac{\partial z}{\partial y}(i,j-1)\delta y\right] \quad ij \neq 0$$







b) Interpolation de Lagrange

$$Z(X,Y) = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} z_{i,j} L_i^x(X) L_j^y(Y)$$

$$L_i^x(X) = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} \frac{X - x_k}{x_i - x_k}$$

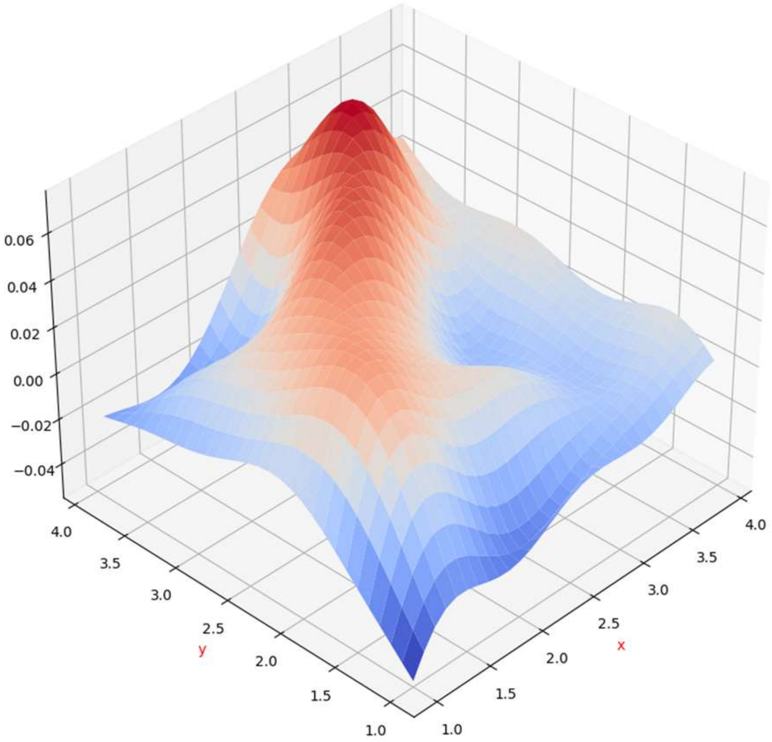
Interpolateur selon x

$$L_j^y(Y) = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{n} \frac{Y - y_k}{y_j - y_k}$$

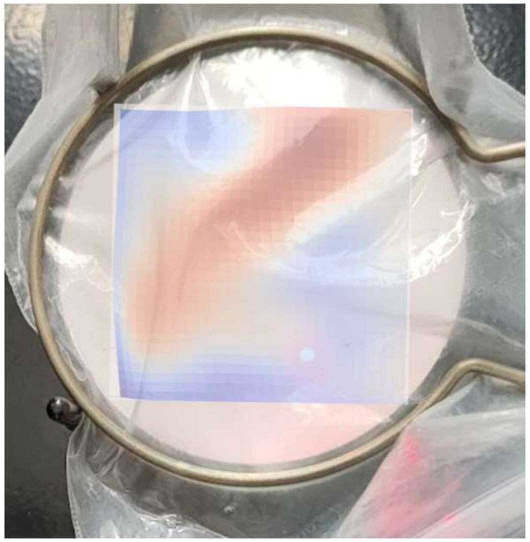
Interpolateur selon y

Par le théorème de Stone-Weierstrass, on peut approcher notre surface par des polynômes.

Reconstitution du front d’onde



Sur chaque point de notre maillage, on a la normale en ce point.
On a donc fait une moyenne pour retrouver les autres points à partir d’un seul.



c) Utilisation des Polynômes de Zernike comme base pour représenter le front d'onde

Base du cercle unité

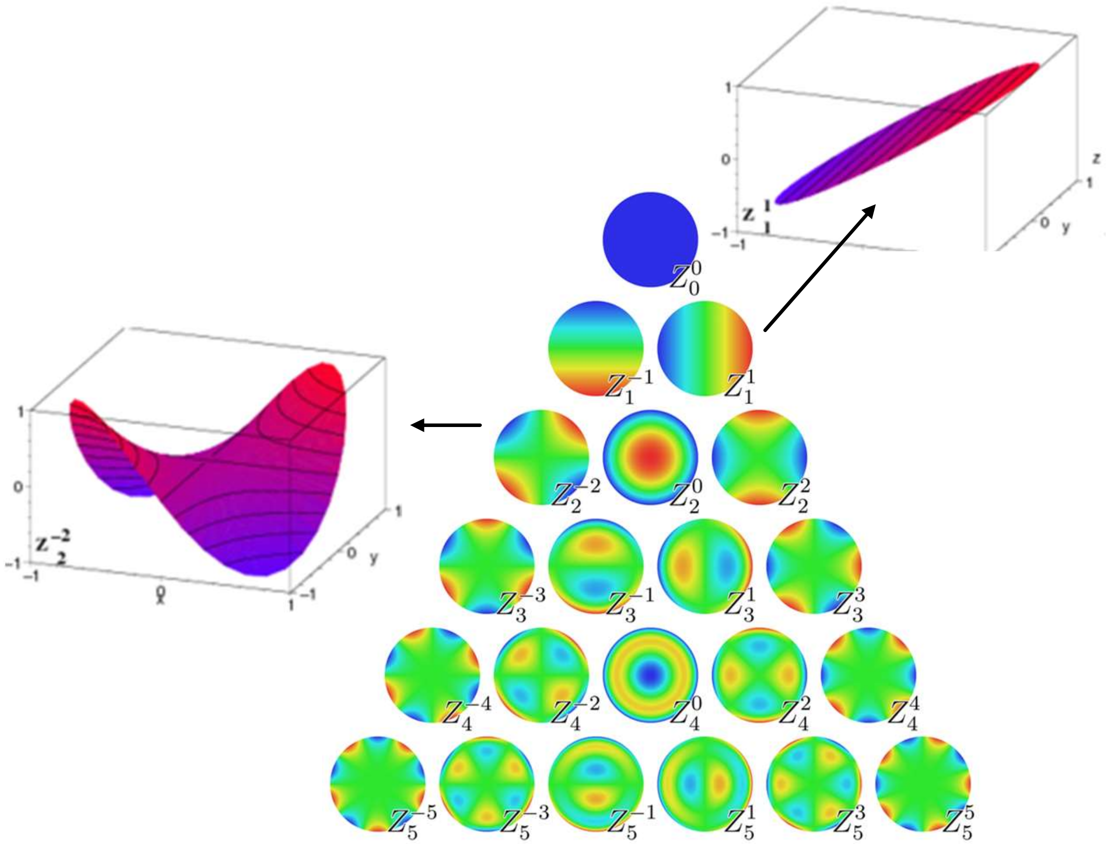
Polynômes de Zernike d'ordre n

$$Z_n^m(\rho,\theta) = \begin{cases} R_n^m(\rho) \times cos(m\theta) & m \geq 0 \\ R_n^m(\rho) \times sin(m\theta) & m < 0 \end{cases}$$

$$\mathrm{R}_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{\frac{n-m}{2}} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k!(\frac{n+m}{2}-k)!(\frac{n-m}{2}-k)!} \rho^{n-2k}$$

m = nombre de méridiens affectés
n = ordre du polynôme

Polynômes de Zernike

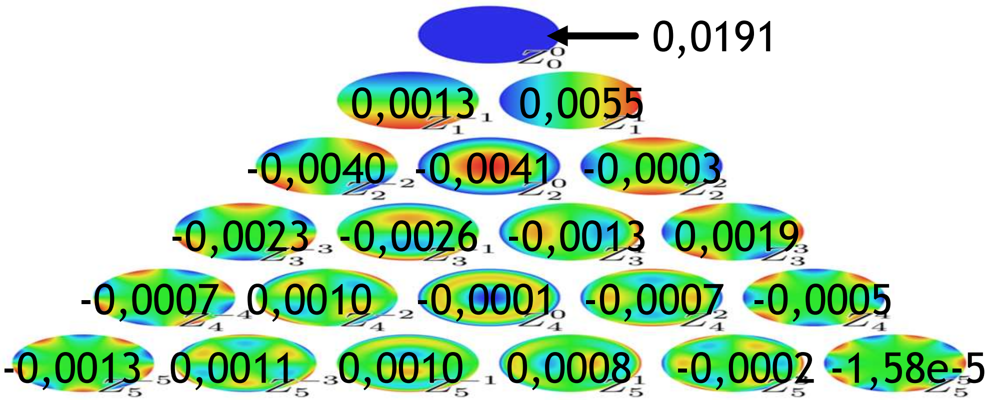


Projection sur la base des Polynômes de Zernike

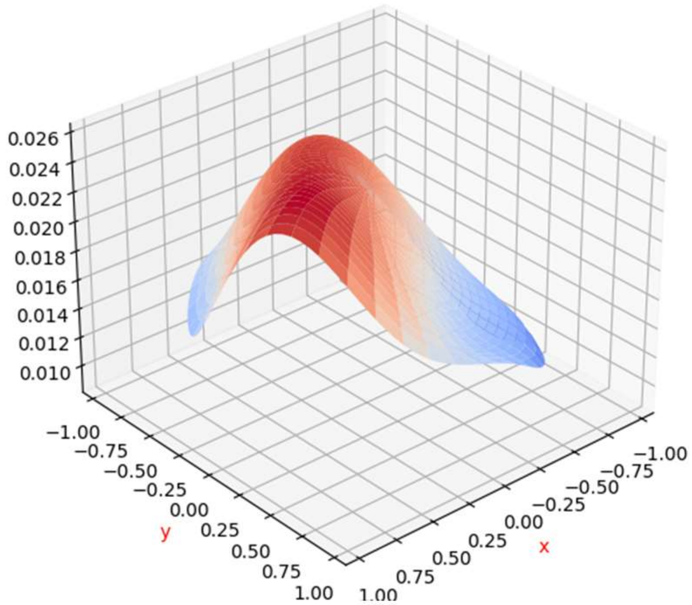
$$\frac{1}{\pi}\iint_D f_1(x,y)f_2(x,y)\,dx\,dy$$

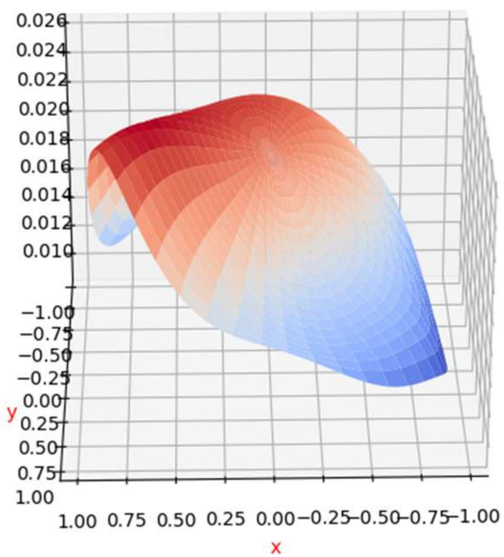
Produit scalaire

Résultats



Résultat obtenu après projection





Conclusion

Mesure précise des défauts :

$\Rightarrow$ Elaboration d'une correction OU changement de la position du rayon