

Le logiciel de conception optique permet de calculer une grande variété d'informations essentielles à la conception, à l'optimisation et à l'analyse et de tout système optique.

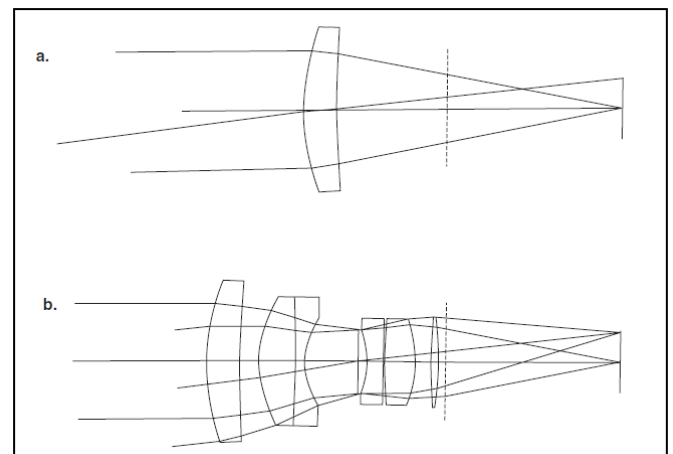
Ainsi, l'utilisation de base de Zemax consiste, suivant le schéma ci-contre, à :

- **entrer des données** (data) concernant le système étudié (tailles, distances, indices de réfraction,...)
- **analyser**, représenter, déterminer les aberrations (défauts)
- **définir la fonction du système**, donner ses propriétés et évaluer ses performances
- **modifier le système optique** de façon à l'optimiser.

Zemax utilise le tracé de rayons (**rays**) pour modéliser la propagation de la lumière à travers un système optique.

Exemple :

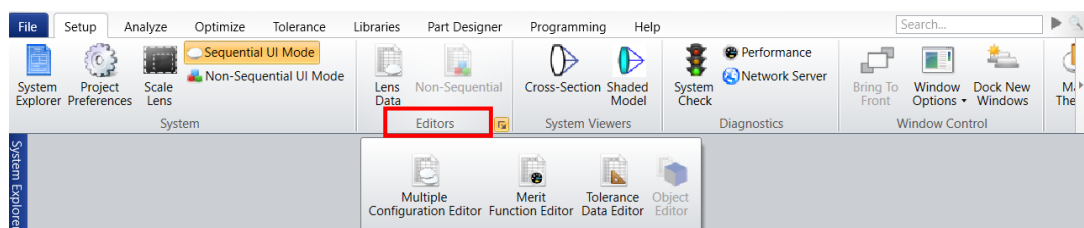
Si l'on compare les deux systèmes optiques représentés ci-contre avec Zemax, ils donnent d'un même objet une image identique en taille et position. Le système a), plus simple, comprend une seule lentille alors que le b) en compte 5. Seul le b) donnera une image de bonne qualité. Zemax permet de comparer les deux systèmes.



1. Les barres d'outils

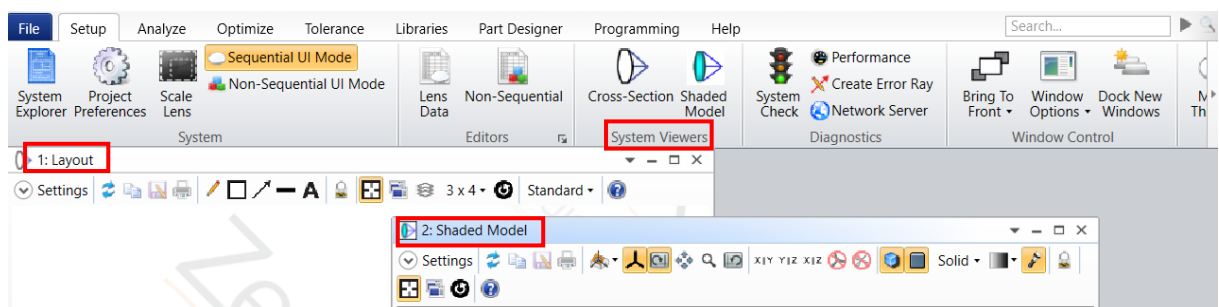
a) L'éditeur :

Editeur (**editor**) d'entrée des données, qui permettent de définir le système optique surface par surface : données sur la lentille (**lens data**), plusieurs versions d'un même système (**multiple configuration**) avec des distances variables par exemple, tolérances...

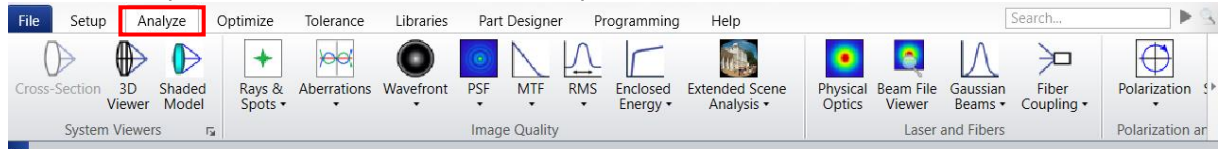


b) Fenêtre de sortie :

Fenêtres de sortie pour la représentation graphique des résultats (**system viewer**) : échantillon (**cross-section**)-dessin (**layout**), représentation ombrée (**shaded model**)



Fenêtres de textes pour la sortie des données numériques

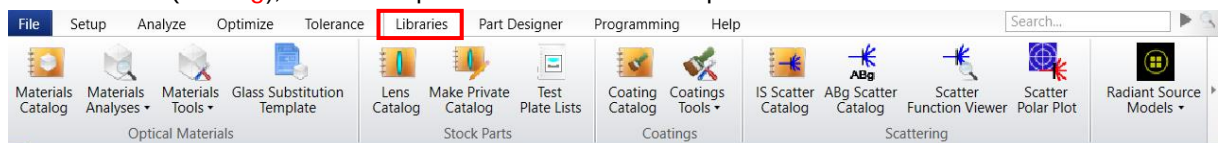


Boîtes de dialogue pour entrer les données, rapport d'erreurs...

c) Les fichiers Zemax

Plusieurs fichiers sont associés à Zemax :

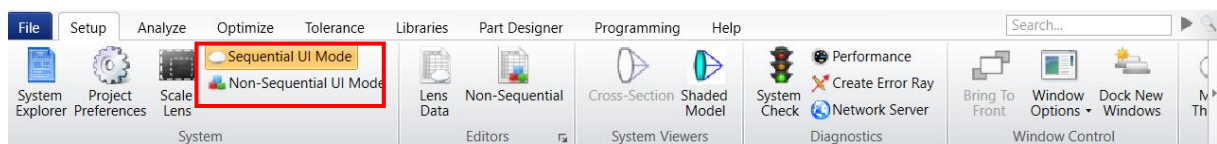
- Les fichiers de données (data files) .ZMX
- Les fichiers de session .SES pour l'ajustement du système (system settings)
- Dans les bibliothèques (Libraries), un catalogue (catalog) de verre (Glass), lentille (lens), revêtement de surface (coating), sources... pour sélectionner le composant voulu



d) Les modes de Zemax

De façon générale, il y a deux modes de travail

- Le mode tracé de rayon séquentiel (sequential UI mode) : les rayons sont tracés à travers une suite de surfaces, voyageant depuis la source (object surface) jusqu'à l'image. Les rayons atteignent chaque surface suivant l'ordre dans lequel les surfaces sont définies.
- Le mode non séquentiel (non-sequential UI mode) : les rayons n'ont pas de trajet prédéfini, ils interagissent avec tout ce qui se trouve sur leur chemin.

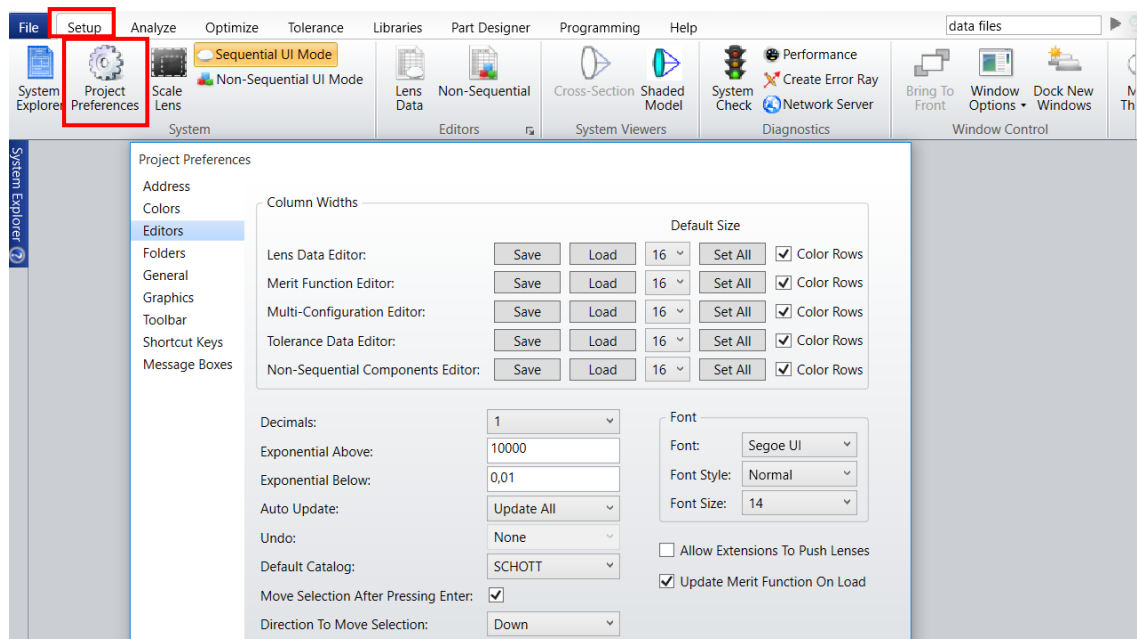


2. Les réglages et l'environnement

a) Les réglages

Dans organisation (setup), les réglages peuvent être personnalisés dans les options du projet (project preferences)

Tous les choix de réglages peuvent être sauvegardés.



b) L'interface Zemax

Les raccourcis claviers (**shortcut Keys**) utiles (tous sont indiqués dans **setup/project preferences/shortcut Keys**) :

F3 : undo

Ctrl F3: redo

Ctrl Q : exit

F2 : edit a cell in the editor

ctrl A : bascule en multiconfiguration (**multiconfiguration toggle**)

ctrl V : variable toggle

F6 : merit function editor

ctrl U : update

shift ctrl Q : quick focus

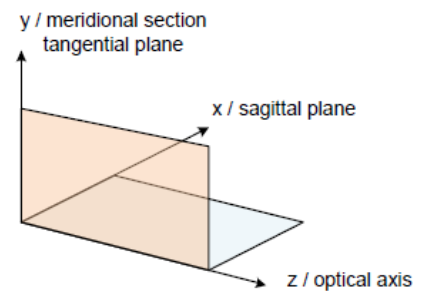
On peut copier dans le presse papier (**clipboard**), exporter sous différents formats, imprimer, annoter les schémas...

save clipboard - save as BMP/JPEG/PNG

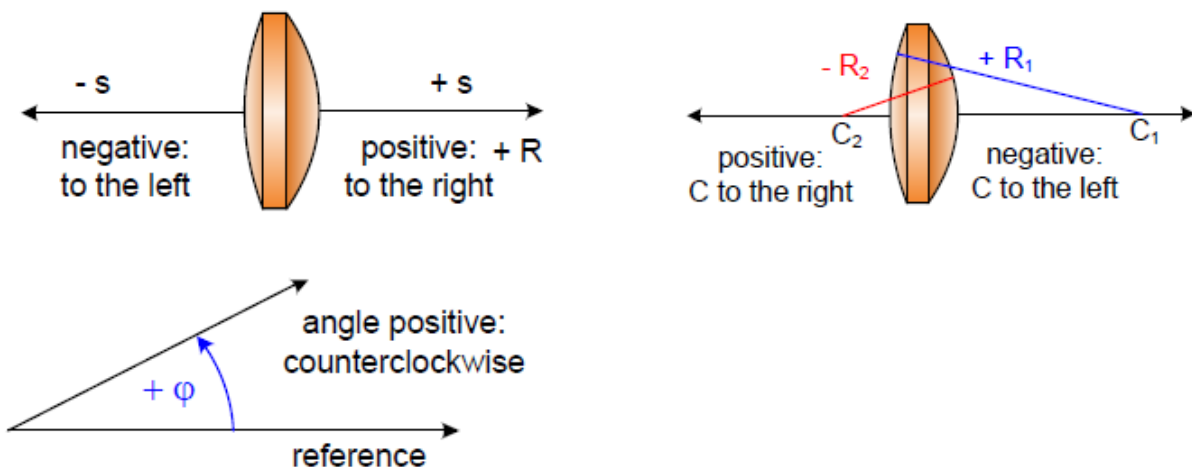


c) Les systèmes de coordonnées

La représentation 2D est dans le plan (y, z), où z représente l'axe optique (généralement l'axe de symétrie du système).



Conventions de signes mesures algébriques, rayons de courbures, angles :

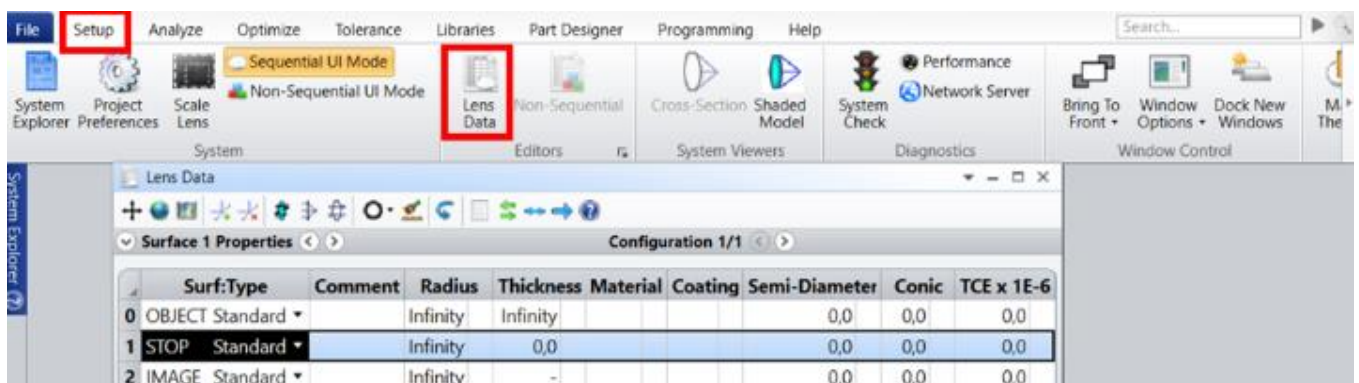


3. Modélisation d'un système optique

Dans **setup/lens data**, on peut définir toutes les surfaces que la lumière va rencontrer, y compris l'objet (surface 0) et l'image. Les surfaces objet et image sont toujours présentes, alors qu'on peut ajouter ou supprimer les autres surfaces (click droit sur la ligne, **insert surface** ou **delete surface**).

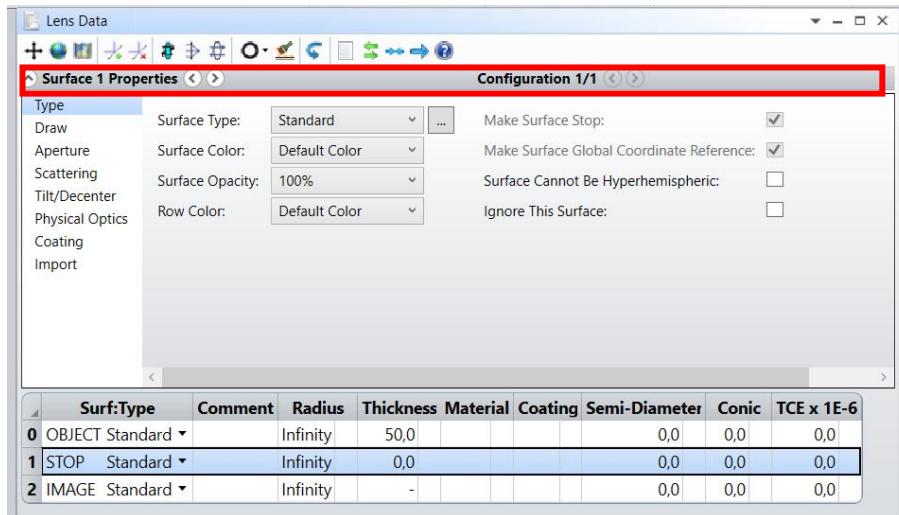
Une lentille, par exemple, sera décrite par deux surfaces.

Il est intéressant de lire l'aide  proposée dans cette boîte de dialogue.



Les grandeurs suivantes sont algébriques (voir conventions rappelées précédemment). Leur unité dépend de l'unité qui a été choisie pour les données de lentille.

NB : pour modifier certaines propriétés de la surface, il faut faire un click droit dans la ligne « configuration » :

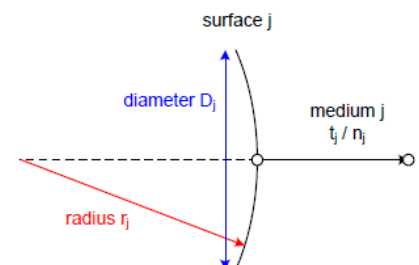


Pour les autres caractéristiques de la surface :

- Surfaces (**Surf : type**):
Planes, sphériques, asphériques, coniques, formes libres
NB : une surface qualifiée de **standard** peut être plane, sphérique ou conique asphérique.
- Rayon de courbure de la surface (**radius**)
Une surface plane a un rayon de courbure infini (**infinity**).
- Epaisseur (**thickness**) :
Elle désigne la distance sur l'axe z entre la surface correspondante et celle qui suit.
Dans l'exemple ci-dessous, il y a 50 (unité arbitraire) entre l'objet et la surface 1.

Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Material	Coating	Semi-Diameter	Conic	TCE x 1E-6
0 OBJECT Standard		Infinity	50,0			0,0	0,0	0,0
1 STOP Standard		Infinity	0,0			0,0	0,0	0,0
2 IMAGE Standard		Infinity	-			0,0	0,0	0,0

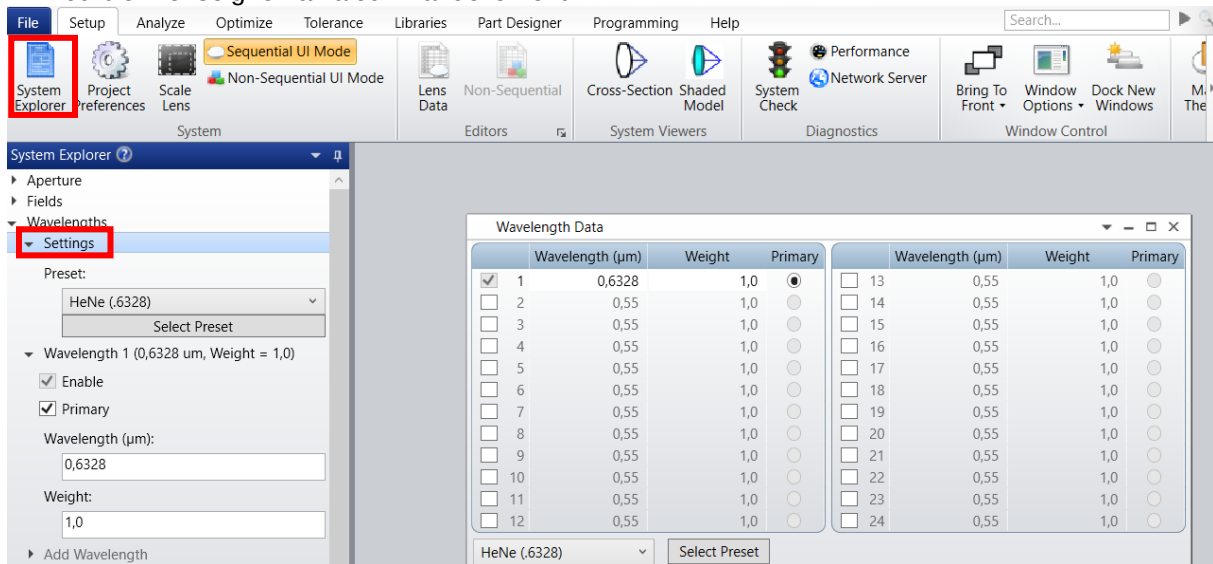
- Matériau (**Material**)
Il faut désigner la nature du matériau optique qui se trouve entre une surface et la suivante. On peut faire appel aux catalogues (**materials catalog**) de la bibliothèque (**librairie**). Par exemple, un verre classique peut-être le BK7. Si l'on ne met rien dans la case, il s'agira d'air.
- Traitement (**Coating**) :
Les surfaces peuvent faire l'objet d'un traitement (coating) éventuel. On en trouvera dans la bibliothèque. On peut aussi indiquer le coating en faisant un clic droit dans la ligne « configuration ».
- Demi-diamètre (**semi-diameter**)
C'est le rayon transversal de la surface. Par exemple, le demi-diamètre de l'objet donne sa demi-hauteur dans la direction perpendiculaire à z, axe optique.
- Constante de la conique (**conic**)
Permet de préciser la forme de la surface conique. La sphère est un cas particulier de conique dont la constante vaut 0 (valeur indiquée par défaut dans la cellule).



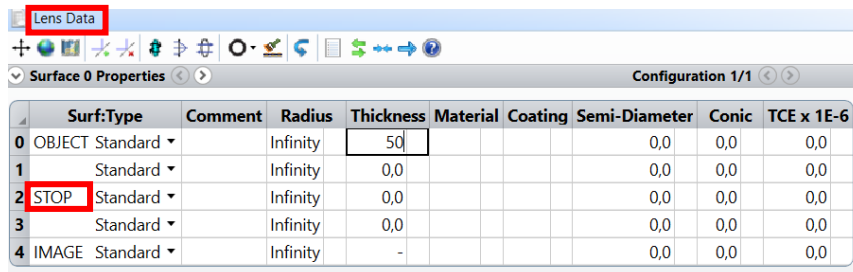
Toutes les données du système

Les données nécessaires

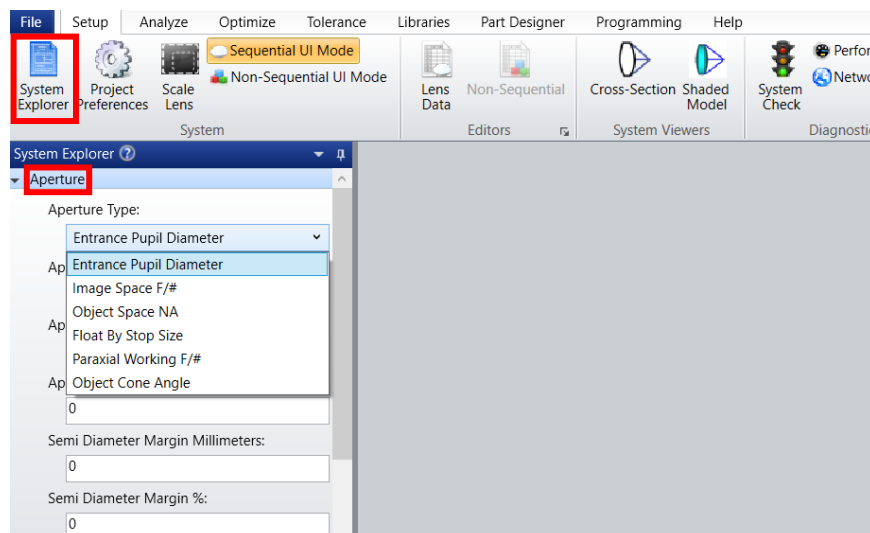
1. Les surfaces avec leurs paramètres (rayons...) (voir § précédent)
2. Les distances entre surfaces, natures des matériaux....(voir § précédent)
3. Longueurs d'onde (**wavelengths**) : dans **system explorer/wavelengths** on peut choisir jusqu'à 24 longueurs d'onde (exprimées en μm), parmi celles fournies par des sources classiques (lasers ou lampes spectrales) ou bien renseigner la valeur manuellement.



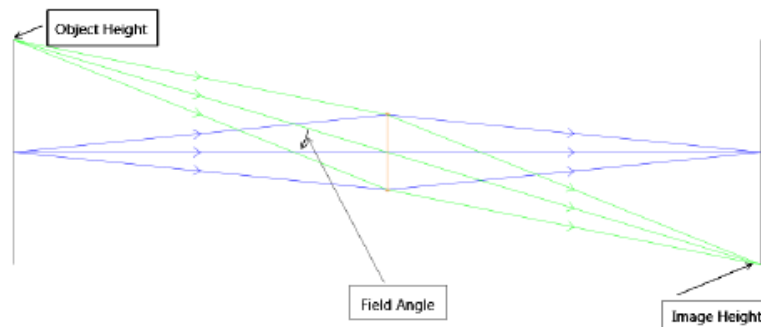
4. Diaphragme d'ouverture (**stop surface**) : voir § suivant sur notions d'optique



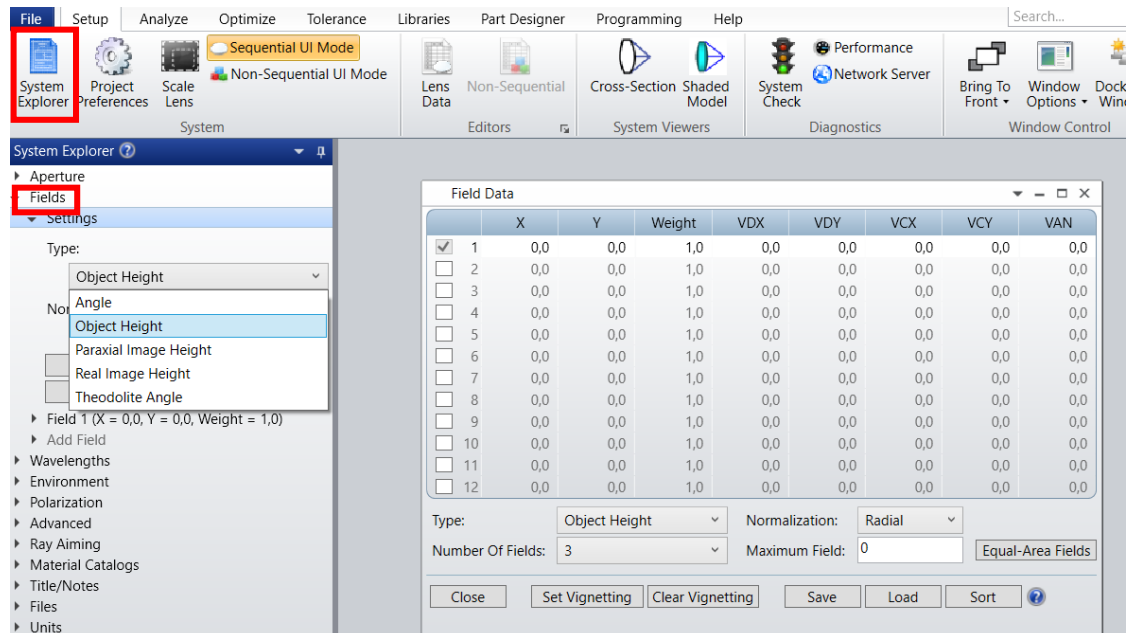
5. Ouverture (**aperture**) : voir § suivant sur notions d'optique



6. Champs de vision (**fields** en abrégé) : voir § suivant sur notions d'optique
Trois moyens de définir le champ (schéma ci-dessous) :
-  Par la hauteur de l'objet
 -  Par la hauteur de l'image formée
 -  Par l'angle de champ



Pour indiquer le champ :



7. Unités

Dans **system explorer/Units** on peut choisir l'unité des **lens data** (mm, cm, m, inch) qui sera aussi celle de tous les autres paramètres du système (sauf l'unité de longueur d'onde).

Les données optionnelles

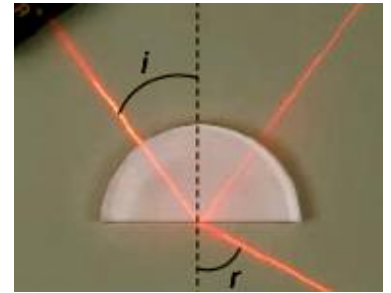
1. finite diameters
2. vignetting factors (vignettage=assombrissement de la périphérie (coins sombres) d'une image)
3. decenter and tilt
4. coordinate reference
5. weighting factors
6. multi configurations

4. Les notions d'optique

Hypothèse de l'optique géométrique : la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène et isotrope.

a) Réfraction

Pour un angle d'incidence i donné sur la surface de séparation des deux milieux (dioptré, séparant plexiglas et air), l'angle de réfraction r dépend des **indices de réfraction** des milieux.



b) Lentilles

Description



Deux dioptrés sphériques avec un matériau d'indice de réfraction n donné entre les deux.

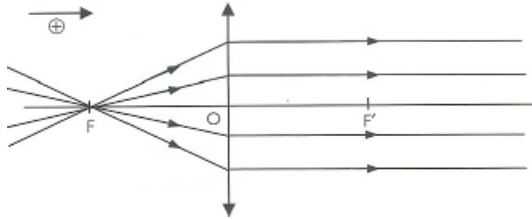
La lumière subit deux fois le phénomène réfraction lorsqu'elle traverse une lentille.

Lentilles : foyers et distances focales

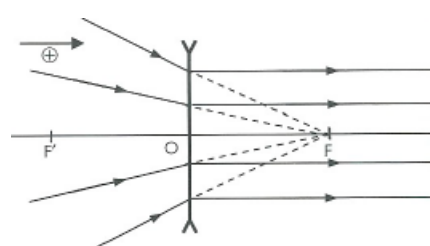
Lentille convergente	Lentille divergente
Foyer image F'	
Les rayons parallèles à l'axe optique convergent, après la lentille, en un point : le foyer image F' de la lentille.	Les rayons parallèles à l'axe optique divergent après la lentille. Seuls leurs prolongements semblent provenir du foyer image F' qui est dit virtuel.

Foyer objet F

Les rayons qui partent du foyer objet F sortent parallèles à l'axe optique.



De même, seuls les **prolongements** des rayons incidents qui sortent parallèles à l'axe optique se coupent au foyer objet F, également **virtuel**.



Distance focale dans le cas d'une lentille mince (schémas ci-dessus)

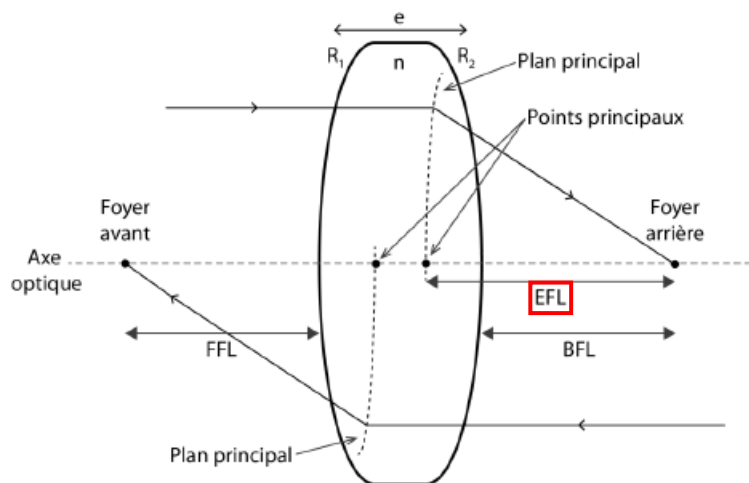
La distance focale **image** d'une lentille mince est : $f' = \overline{OF'}$ où O est le centre optique de la lentille.
 $f' > 0$ pour une lentille convergente ; $f' < 0$ pour une lentille divergente.

La distance focale **objet** d'une lentille mince est : $f = \overline{OF}$. $f < 0$ pour une lentille convergente ;
 $f > 0$ pour une lentille divergente.

Cas d'une lentille épaisse

Il n'y a plus de centre optique mais des points principaux H et H'.

Soit une lentille d'épaisseur e, de matériau d'indice de réfraction n et de rayons de courbure R_1 et R_2 , celle-ci possède un foyer avant, un foyer arrière, une longueur focale avant (**front focal length FFL**) représentée par la distance entre le foyer avant et le vertex (endroit le plus bombé) avant de la lentille, une longueur focale arrière (**back focal length BFL**) mesurée entre le vertex arrière de la lentille et le foyer arrière ainsi qu'une longueur focale effective (**effective focal length EFL**). C'est **EFL** qui sert de référence dans les catalogues.



c) Diaphragmes

Diaphragmes de champ et d'ouverture

L'ouverture détermine principalement la quantité de lumière qui entre dans le système optique jusqu'au récepteur.

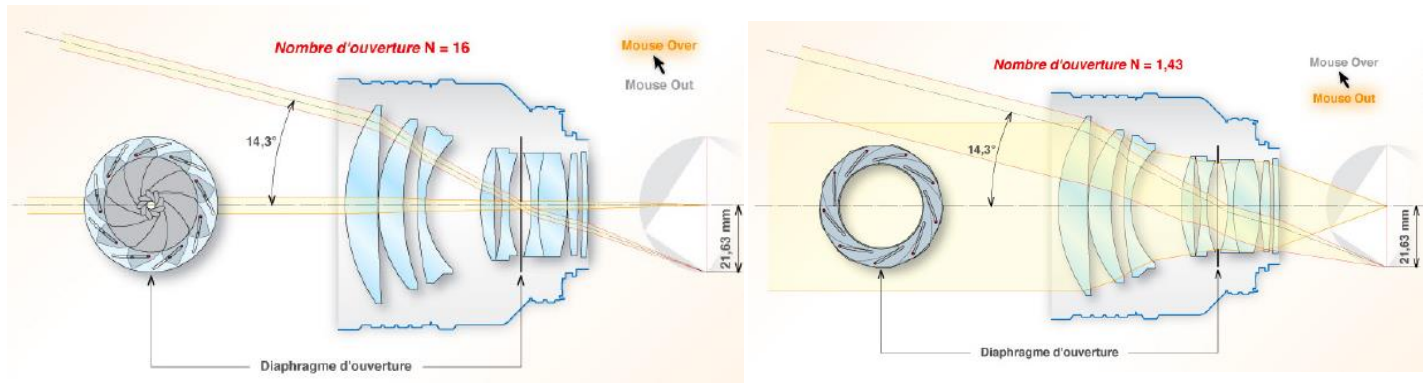
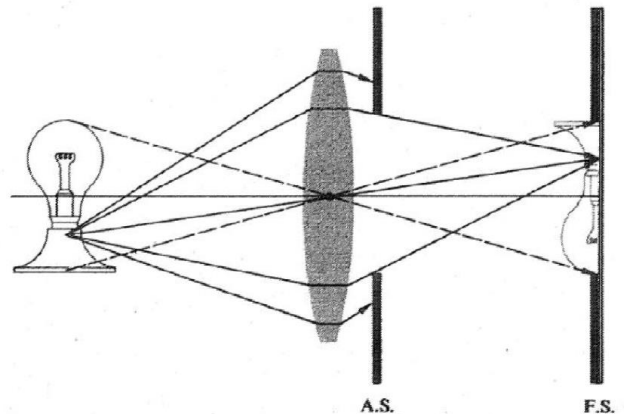
Le diaphragme est un objet physique qui limite l'étendue du faisceau lumineux du système.

On distingue le **diaphragme d'ouverture** (AS, aperture stop) du **diaphragme de champ** (FS, field stop)

Tout objet obstruant, comme la monture de la lentille ou un diaphragme séparé (trou de forme et taille données) détermine le faisceau utile et constitue le diaphragme d'ouverture.

Tout élément qui limite la taille de l'image est un diaphragme de champ.

Exemple : dans un appareil photo, le diaphragme d'ouverture est un trou circulaire de taille variable situé dans l'objectif. Il est toujours intéressant d'avoir le maximum de luminosité sur l'image, mais certains rayons peuvent nuire à la qualité de l'image. Le diaphragme d'ouverture les élimine.



Le diaphragme de champ est constitué par le capteur photosensible situé dans le boîtier de l'appareil.

Pupille d'entrée et pupille de sortie

La notion de pupille permet de savoir si un rayon peut traverser tout le système optique ou non.

La **pupille d'entrée** d'un système optique est l'image du diaphragme d'ouverture donnée vers l'avant par la partie avant du système.

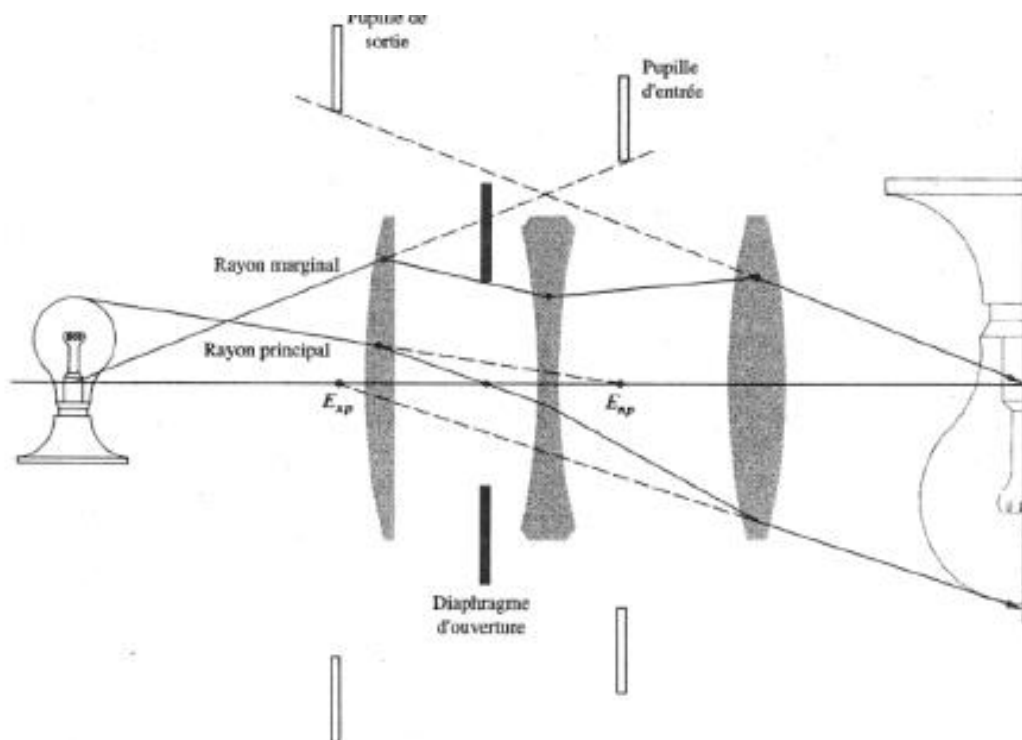
La **pupille de sortie** d'un système optique est l'image du diaphragme d'ouverture donnée vers l'arrière par la partie arrière du système.

Les pupilles d'entrée et de sortie déterminent le cône de lumière qui entre dans le système et celui qui en sort.

Exemples avec une seule lentille et un diaphragme d'ouverture :

Le diaphragme d'ouverture est situé avant la lentille. Entre l'objet et le diaphragme, il n'y a rien donc la pupille d'entrée est le diaphragme lui-même. La pupille de sortie est l'image du diaphragme à travers la lentille, qui est alors le système optique placé après.	Le diaphragme d'ouverture est situé après la lentille. Il constitue donc aussi la pupille de sortie. Par contre, la pupille d'entrée est l'image du diaphragme par la lentille, qui constitue alors le système optique placé avant le diaphragme.

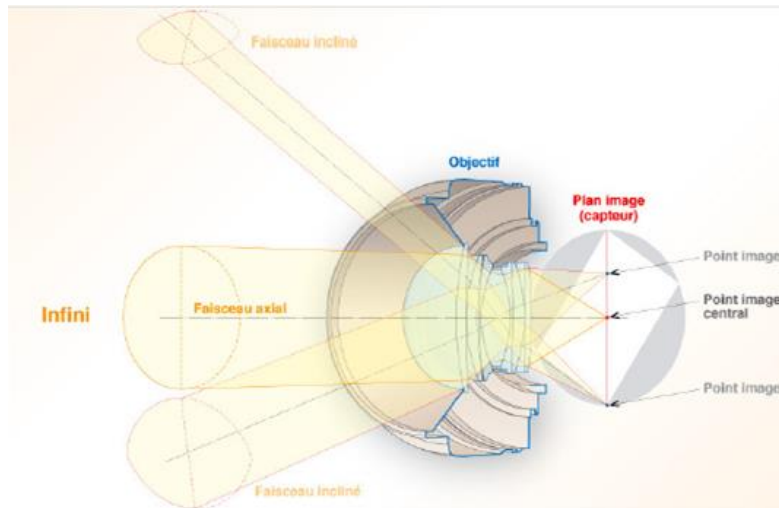
Des rayons utilisés dans les tracés :



Un **rayon principal** (**chief ray**) est un rayon issu d'un point objet hors axe optique et qui passe par le centre du diaphragme d'ouverture.

Un **rayon marginal** (**marginal ray**) part d'un point de l'objet sur l'axe optique et passe par le bord du diaphragme d'ouverture

✚ Vignettage (vigneting) :



Le cône de rayons qui peut atteindre l'image se rétrécit lorsque le point objet s'éloigne de l'axe. Les bords de l'image sont alors assombris. Cet effet peut d'ailleurs être recherché en photo pour mettre en valeur le sujet.



✚ Ouverture relative et nombre d'ouverture

L'éclairement du capteur photosensible augmente avec le diamètre D de la pupille d'entrée et diminue avec la distance focale f' du système optique. On peut montrer que l'éclairement reçu est proportionnel à $\left(\frac{D}{f'}\right)^2$. Le

rapport $\frac{D}{f'}$ est l'ouverture relative et son inverse le nombre d'ouverture noté N.O. ou $f/\#$ (**f-number**).

Par exemple, une lentille qui a une ouverture $D=25\text{mm}$ et une distance focale $f'=50\text{mm}$ a un nombre d'ouverture 2. Plus le nombre d'ouverture est grand et moins la lumière atteint le capteur.

Sur l'objectif d'un appareil photo figure sa distance focale et son ouverture la plus grande (nombre d'ouverture le plus petit).

Sur l'objectif ci-contre, on choisit le nombre d'ouverture en tournant une bague qui fait varier la taille du diaphragme d'ouverture et donc la taille de la pupille d'entrée.

La quantité d'énergie lumineuse qui arrive sur le capteur photosensible (ou la pellicule) dépendra du N.O. choisi mais aussi du temps d'exposition.

