

Les lentilles minces.

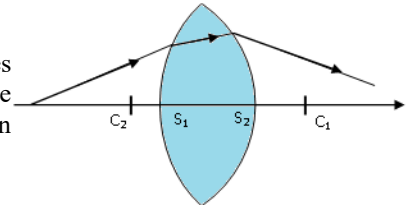
Introduction.

Les lentilles minces sont présentes dans la vie quotidienne, il suffit de voir une paire de lunettes pour s'en persuader, et même de simplement regarder un œil puisque celui-ci contient un cristallin qui est modélisable par une lentille mince. Les lentilles sont également présentes dans de nombreux instruments d'optique : appareil photo, caméra, vidéoprojecteur etc...

1. Lentilles minces. Un exemple de système optique centré

1.1. Constitution d'une lentille mince.

Les lentilles sont constituées selon une géométrie qui met en œuvre deux dioptries sphériques de rayons distincts. L'étude exacte du passage d'un rayon lumineux dans une lentille se fait donc par l'étude de la traversée de ces deux dioptries lorsque le rayon lumineux est réfracté à travers la lentille en exploitant les lois de Snell-Descartes.



Les lentilles entrent dans la catégorie des systèmes optiques centrés.

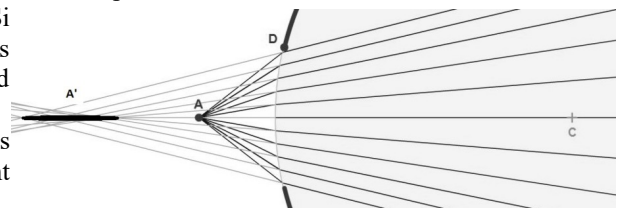
Définition : Un système optique centré présente un axe de symétrie, qu'on appelle alors axe optique et qu'on oriente généralement dans le sens de propagation de la lumière. Les plans perpendiculaires à l'axe optique sont alors désignés par le terme de plan de front.

1.2. Propriété de stigmatisme approché.

Pour qu'une lentille mince soit stigmatique au sens approché du terme, il faut respecter deux conditions.

Prenons le cas d'un point objet situé sur l'axe optique de la lentille. Si on cherche à construire l'image de ce point sans limiter les angles d'incidence sur le dioptre, on obtient une tache image qui s'étend largement le long de l'axe optique.

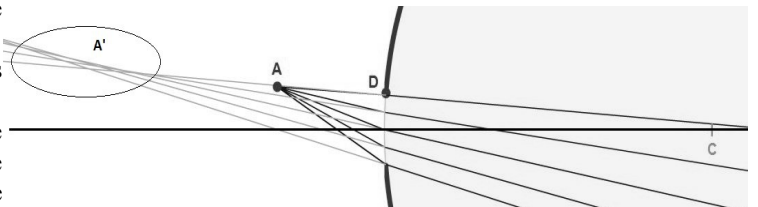
- La première condition porte donc sur les angles faits par les rayons incidents et émergents avec l'axe optique qui doivent présenter des valeurs faibles.



Prenons le cas d'un point objet situé en dehors de l'axe optique de la lentille.

On constate à nouveau que la tache image s'étend très largement si on s'éloigne trop de l'axe optique.

- La seconde condition porte donc sur la distance entre le point objet et l'axe optique de la lentille qui doit rester faible devant la distance caractéristique de cette dernière.

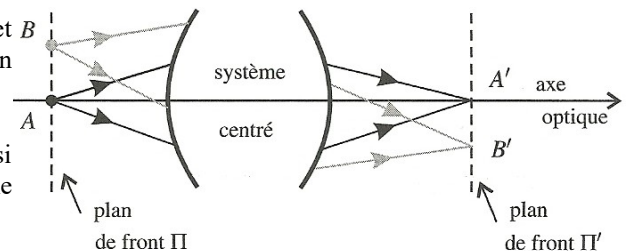


1.3. Propriété d'aplanétisme et d'aplanétisme approché.

Définition :

Un système optique centré est dit aplanétique, s'il donne d'un objet B étendu dans un plan de front, une image située dans un (autre) plan de front du système optique.

Les lentilles minces seront aplanétiques au sens approché du terme si les conditions mises en évidence précédemment pour le stigmatisme approché sont respectées.



1.4. Conditions de Gauss.

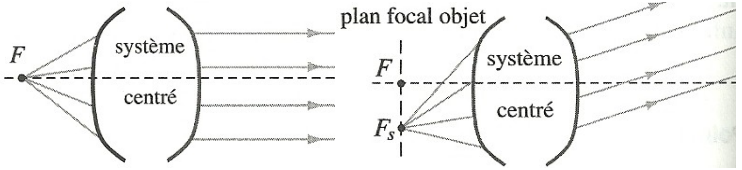
Propriétés : Les lentilles minces seront considérées comme stigmatiques (au sens approché) et aplanétiques (au sens approché) si on les utilise dans les conditions de Gauss énoncées ci-dessous.

- Les rayons lumineux considérés sont peu inclinés par rapport à l'axe optique. L'angle entre le rayon lumineux incident et l'axe optique ne doit pas excéder en pratique les 10° .
- Les rayons lumineux sont proches de l'axe optique. La distance entre le rayon lumineux et l'axe optique au voisinage de la lentille devra être petite devant une distance caractéristique (en général, cette distance sera la distance focale).

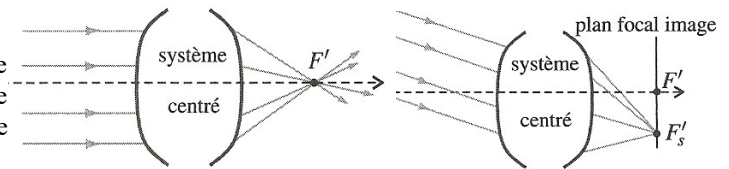
1.5. Notion de foyers.

Pour les systèmes optiques centrés, on définit également :

- Le foyer objet principal qui est le point F de l'axe optique, conjugué par le système avec le point image à l'infini dans la direction de l'axe optique.
- Le plan focal objet est le plan de front passant par le foyer objet principal. Les points situés dans ce plan sont appelés foyer objets secondaires.



- Le foyer image principal qui est le point F' de l'axe optique, conjugué par le système avec le point objet à l'infini dans la direction de l'axe optique.
- Le plan focal image est le plan de front passant par le foyer image principal. Les points situés dans ce plan sont appelés foyers images secondaires.



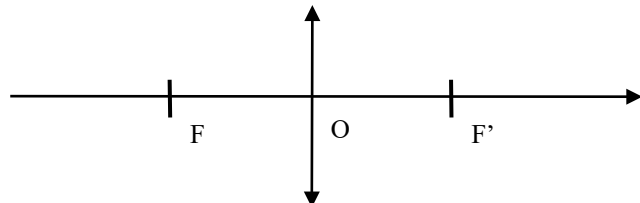
2. Modélisation des lentilles minces.

2.1. Rayons lumineux particuliers.

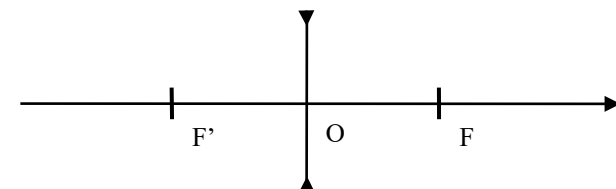
Pour étudier dans le cadre de l'optique géométrique les lentilles minces, on utilise un modèle simplifié qui néglige les effets de l'épaisseur de verre constituant la lentille.

On continue d'utiliser la méthode générale de construction d'une image : on construit plusieurs rayons lumineux incidents passant par le point objet (en pratique, on en construit deux) et les rayons lumineux associés émergeant du système optique. Le point image est alors à l'intersection des rayons lumineux émergeant.

On représente alors une lentille convergente par le schéma :



Et une lentille divergente par le schéma :



Définition et propriétés :

- le point d'intersection de l'axe optique et du plan de la lentille est appelé centre optique de la lentille, noté O .
- les foyers image et objet principaux sont disposés symétriquement par rapport au plan de la lentille.
- On définit la distance focale image de la lentille f' par la distance algébrique de O à F' le long de l'axe optique :
- On obtient alors immédiatement que : $f' = \overline{OF'} = -\overline{OF}$
- On constate également que les lentilles à bord mince, dites convergentes sont telles que $f' = \overline{OF'} > 0$
- Inversement, les lentilles à bord épais, dites divergentes sont telles que $f' = \overline{OF'} < 0$
- On définit la vergence d'une lentille mince par l'inverse de sa distance focale. $V = 1/f'$. La vergence s'exprime en dioptrie (δ) lorsqu'on exprime la distance focale en mètre (m).

On peut alors caractériser entièrement la lentille mince en s'intéressant aux trois rayons par les points particuliers O , F et F' .

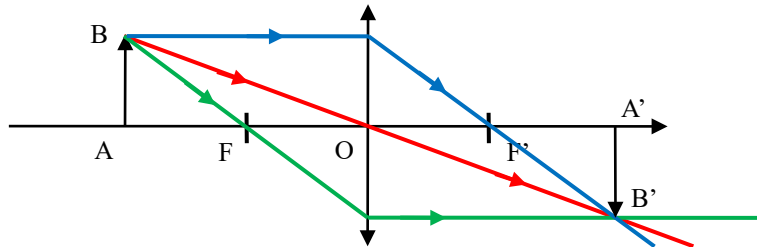
Un rayon passant par O , ne sera pas dévié. (Rayon rouge ci-dessous)

Un rayon incident passant par le foyer objet F de la lentille générera un rayon transmis parallèle à l'axe optique. (Rayon vert ci-dessous).

Un rayon incident parallèle à l'axe optique générera un rayon transmis passant par le foyer image F' de la lentille. (Rayon bleu ci-dessous).

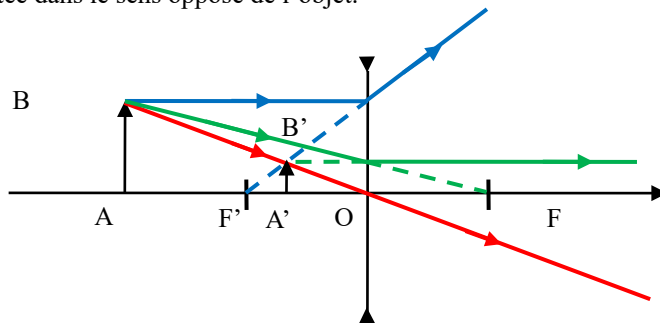
2.2. Exemples de constructions d'image.

On considère un objet AB situé dans un plan de front. On va construire son image à l'aide des rayons particuliers listés ci-dessus.



Cas d'une lentille
convergente

On constate ici que l'image A'B' est réelle car elle est à l'intersection de rayons lumineux. Elle est inversée (renversée) car l'image est orientée dans le sens opposé de l'objet.



Cas d'une lentille
divergente

On constate ici que l'image A'B' est virtuelle car elle est à l'intersection du prolongement des rayons lumineux transmis par la lentille. Elle est droite car l'image est orientée dans le même sens que l'objet. Elle est rétrécie car l'image est plus petite que l'objet.

Définition : On appelle grandissement (transverse), généralement noté γ le rapport des tailles algébriques de l'image et de l'objet (dans un plan de front) conjugués par un instrument d'optique : $\gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{A'B'}{AB}$

Si l'image est plus grande que l'objet, on dit qu'elle est agrandie correspondant à $|\gamma| > 1$

Si l'image est plus petite que l'objet, on dit qu'elle est rétrécie correspondant à $|\gamma| < 1$

2.3. Relations de conjugaison et de grandissement.

A partir de la construction géométrique des images qui respectent les règles édictées précédemment, on démontre les relations de conjugaison, permettant de relier la position algébrique de l'objet et celle de l'image ainsi que les relations de grandissement qui relient la taille (algébrique) de l'objet et celle de l'image.

(a) Relations de conjugaison et de grandissement avec origine aux foyers (dites de Newton).

Relation de conjugaison avec doubles origines aux foyers : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$

Les relations de grandissement avec origine au foyer objet $\gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{f'}{\overline{FA}}$ et au foyer image $\gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$

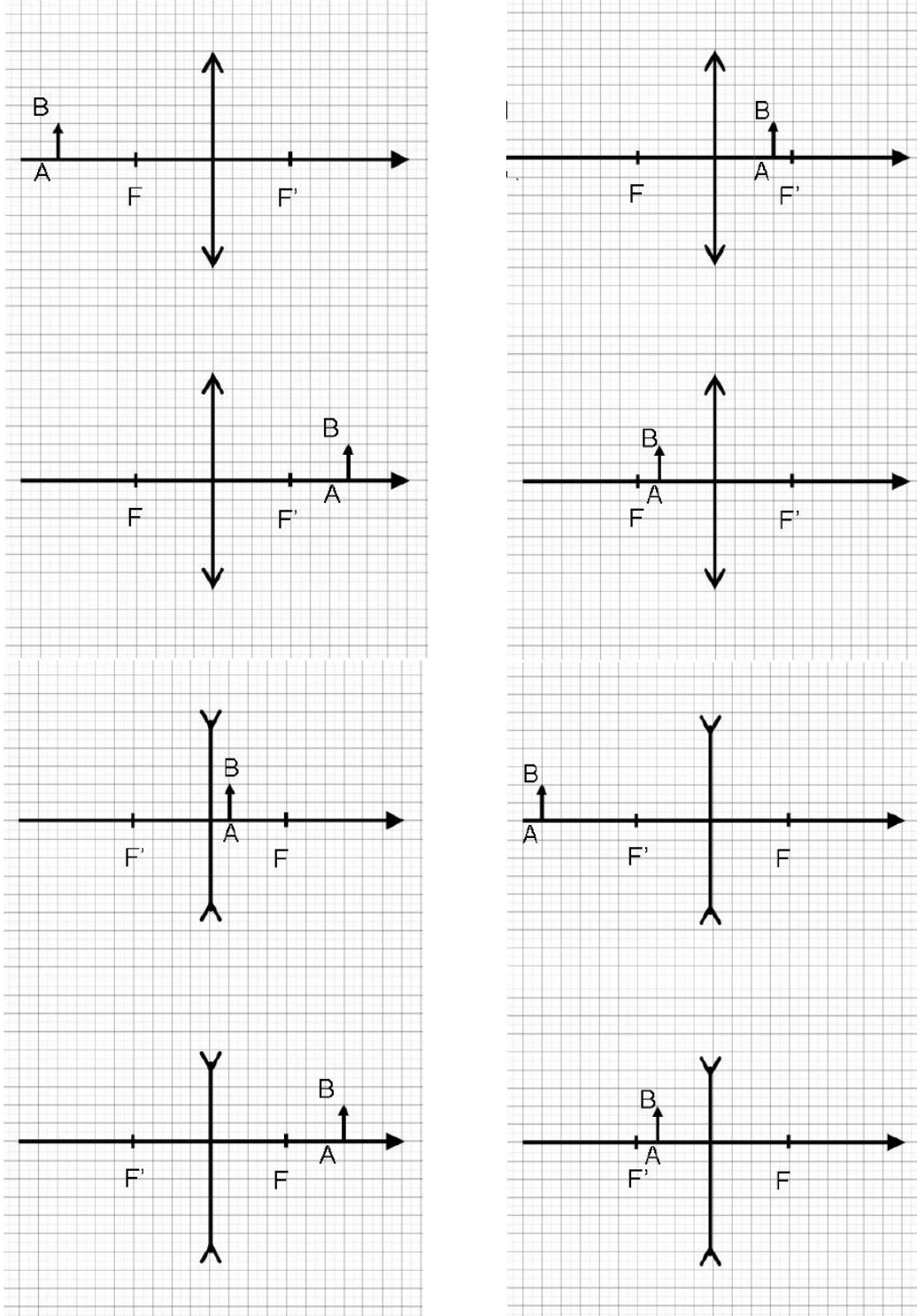
(b) Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au centre (dites de Descartes).

Relation de conjugaison avec origine au centre : $-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'}$

Relation de grandissement avec origine au centre : $\gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Remarques : Toutes les relations de grandissement se retrouvent en utilisant le théorème de Thalès sur les rayons passant respectivement par le foyer objet, le centre optique et le foyer image.

AD 1 : entraînement à la construction d'une image par une lentille mince



AD 2 : entraînement à la manipulation des relations de conjugaison et de grandissement.

Une lentille mince donne d'un objet réel situé à une distance $d=60\text{cm}$ devant elle, une image droite (non inversée) réduite d'un facteur $R=5$.

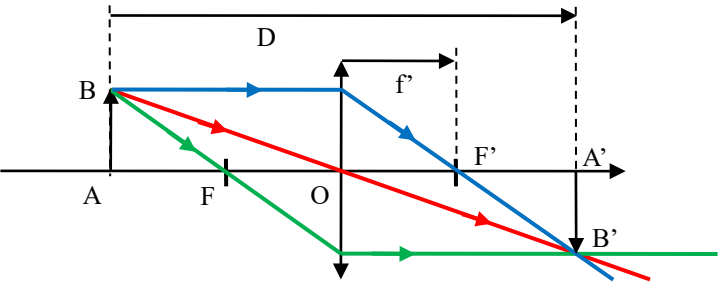
1. Déterminer par l'exploitation des relations de conjugaison et grandissement bien choisies la position de l'image et les caractéristiques de la lentille.

Une lentille mince divergente a pour distance focale $f^*=-30\text{cm}$. On considère un point objet A situé à $d=30\text{cm}$ devant la lentille et l'objet étendu dans ce plan de front AB de taille $T=1\text{mm}$.

2. Déterminer par l'exploitation des relations de conjugaison et grandissement bien choisies la position et la taille de l'image.

2.4. Condition d'observation d'une image réelle construite à partir d'un objet réel avec une lentille convergente.

On établit une condition à respecter pour qu'une lentille convergente de distance focale f' forme à partir d'un objet réel, une image réelle projetable sur un écran situé à une distance D de l'objet.



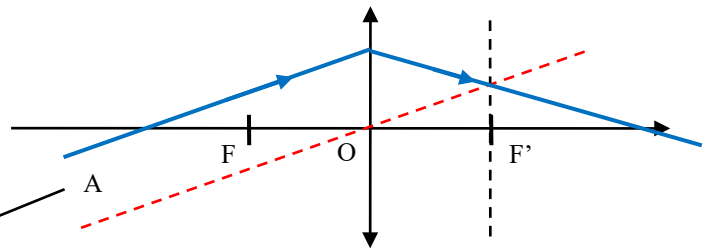
Conclusion : On retiendra la condition de réalisation de la projection d'un objet sur un écran situé à une distance D à l'aide d'une lentille de focale f' : $D \geq 4f'$ (en particulier il sera bon de s'en souvenir pendant les séances de TP)

2.5. Construction du rayon transmis associé à un rayon incident.

Commençons par un exemple, on considère une lentille convergente et un rayon lumineux incident quelconque.

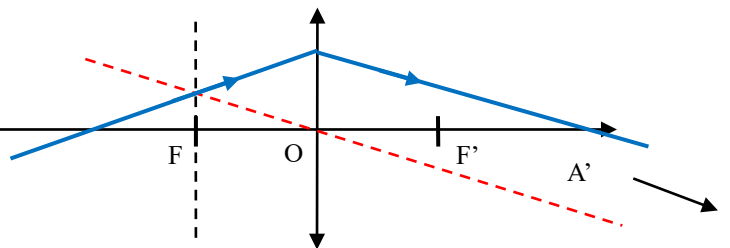
Première méthode dite de l'objet à l'infini.

On considère en pointillé rouge, la droite passant par le centre O parallèle au rayon lumineux étudié en bleu. Le rayon incident bleu et la droite rouge peuvent être vus comme deux rayons issus d'un même objet A à l'infini. Cet objet à l'infini est imagé dans le plan focal image de la lentille, on trouve son image A' en cherchant où la droite rouge non déviée car passant par O intercepte le plan focal image. On sait alors que le rayon bleu transmis passe par ce point.



Seconde méthode dite de l'image à l'infini.

On considère un objet A dans le plan focal objet de la lentille. On considère alors en pointillé rouge la droite passant par A et le centre optique O . A est conjugué d'un point image A' situé à l'infini dans la direction donnée par la droite rouge. On sait alors que le rayon bleu transmis est parallèle à la droite rouge.

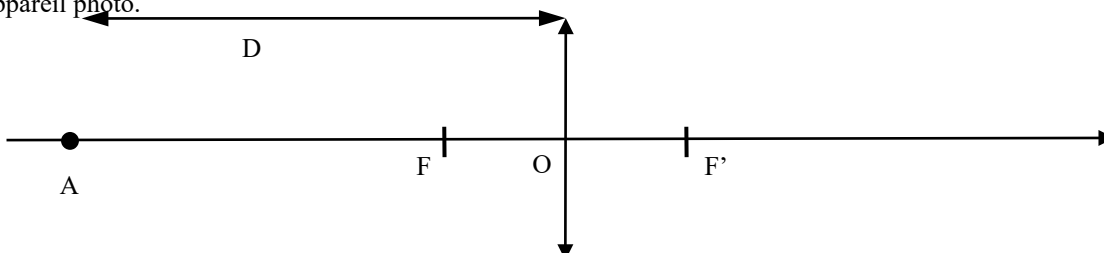


AD 3 : entraînement à la construction d'un rayon émergent.

On modélise un appareil photo numérique par une lentille (l'objectif) de distance focale $f'=5,0\text{cm}$ et de diamètre $a=3,0\text{cm}$ et une matrice-capteur CCD de dimension $24 \times 36\text{mm}^2$ perpendiculaire à l'axe optique et centrée sur celui-ci. La mise au point est initialement faite sur l'infini.

1. Dans quel plan se situe la caméra CCD ?

Dans cette configuration, on voit de manière nette tous les objets situés entre l'infini et une distance de $D=100\text{m}$ devant l'appareil photo.



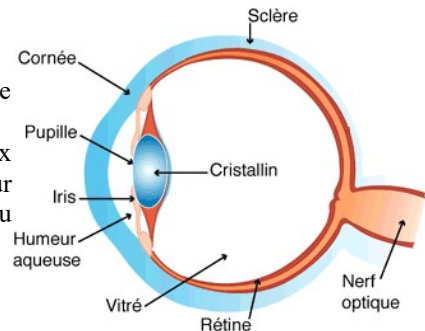
2. Construire le rayon lumineux émergent de la lentille associé à un rayon incident passant par le point A sur l'axe optique à une distance D devant l'appareil et s'appuyant sur le bord de la lentille.
3. Déterminer alors le diamètre T de la tache lumineuse sur la caméra CCD associée à A . Faire l'application numérique et exprimer le résultat en mm.
4. Le point A est associé à une tache sur la caméra CCD, il est cependant vu net par cette dernière. Que peut-on en déduire de la taille d'un pixel de la caméra ? faire alors une évaluation du nombre de pixels.

3. Modélisation et caractéristiques de l'œil.

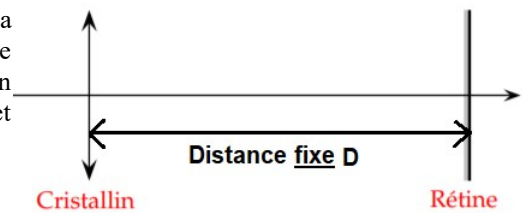
3.1. Schématisation de l'œil.

D'un point de vue biologique, l'œil est un système complexe comportant de nombreux éléments.

D'un point de vue optique, La lumière doit traverser les dioptries situées aux interfaces entre l'air ambiant/la cornée/l'humeur aqueuse/le cristallin/l'humeur vitrée/ avant d'atteindre la couche cellulaire sensible qui envoie les stimuli au cerveau qui reconstruit alors les images.



Une bonne partie des propriétés de l'œil est cependant analysable par la réduction de ce système à son modèle le plus simple constitué d'une lentille mince convergente de vergence variable qui modélise le cristallin et d'un écran de projection situé à une distance d fixe sur lequel vient se former l'image et qui modélise la rétine.



3.2. Caractéristiques d'un œil emmétrope.

Le système oculaire ainsi modélisé présente toutefois un comportement assez particulier avec lequel il faut se familiariser. On présente ici le cas d'un œil emmétrope, c'est-à-dire sans défaut de vision.

Conjugaison du plan objet avec un plan image fixe :

- l'image se forme sur un écran situé à distance fixe puisque la distance D entre le cristallin et la rétine est fixe de l'ordre de 17mm.
- Pour observer des points situés à différentes distances, il faut donc **ajuster la distance focale du cristallin** ce qui est assuré par l'action de muscles qui viennent agir sur le cristallin pour le déformer. On dit qu'on accommode, ou qu'on réalise l'accommodation.
- Lorsque l'œil est au repos, c'est-à-dire que les muscles accommodeurs n'agissent pas, la conjugaison est faite entre le plan de la rétine avec un point appelé Punctum Remotum situé à l'infini pour un œil sans défaut de vision.

AD4 : Estimer la distance focale f_{repos} du cristallin au repos.

- Lorsque l'œil accommode au maximum, il conjugue le plan de la rétine avec un point appelé Punctum Proximum qui est le point le plus proche observable pour un œil sans défaut de vision. Ce point se situe à une distance d de l'ordre de 25cm pour un œil sans défaut de vision.

AD4 (suite) : Estimer la distance focale f_{acco} du cristallin lors d'une accommodation maximale.

A retenir : L'accommodation est obtenue suite à un effort musculaire, et elle entraîne sur la durée une fatigue importante. C'est pourquoi, les instruments d'optique destinés à fournir une observation directe à l'œil (microscope, lunette astronomique) forment en sortie une image à l'infini qui constituera un objet à l'infini observable sans accommoder et donc sans fatigue.

Taille de l'image, pouvoir de résolution :

On désigne par le terme de pouvoir de résolution, la capacité d'un système à distinguer deux points objets. Puisque l'œil est par défaut constitué pour observer les objets à l'infini, on l'exprime en général par un angle.

Sur l'illustration ci contre, tous les objets situés dans le cône grisé seront confondus puisqu'ils sont captés par l'œil sous des angles qui diffèrent d'une valeur inférieure au pouvoir de résolution. Pour la visualisation, on a pris une valeur de 2 degrés du pouvoir de résolution.



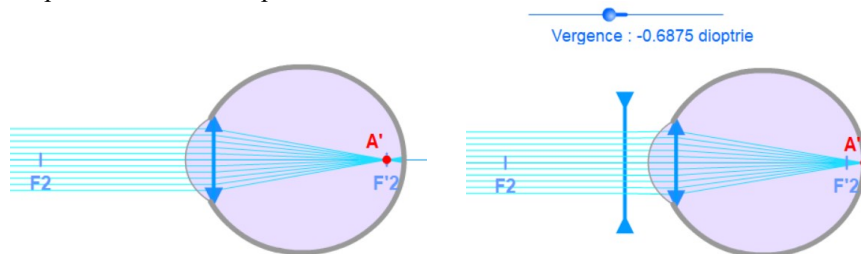
Propriété : le pouvoir de résolution $\delta\alpha$ d'un œil emmétrope est de l'ordre de grandeur d'une minute d'arc ($1' = 1/60^\circ$) ce qui correspond à 3.10^{-4} rad.

AD4 (suite) : Estimer la taille du plus petit objet observable à une distance de 25cm, 5m, 100m.

3.3. Défaut de vision et correction.

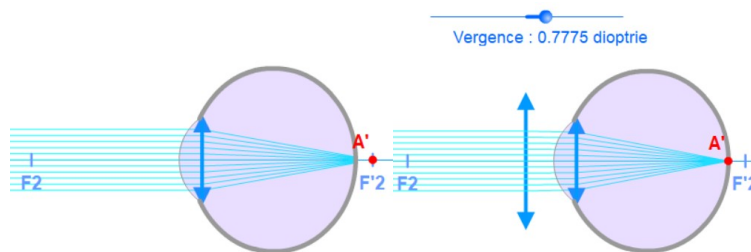
Myopie : C'est le défaut de vision le plus courant chez l'adulte, elle pourrait être présente chez plus de 50% de la population à des niveaux divers.

Pour l'œil myope, l'image d'un objet à l'infini se fait devant la rétine. Pour compenser ce défaut, on place une lentille divergente devant l'œil de manière à former un doublet « quasi accolé » de lentilles de distance focale totale plus grande, ramenant ainsi l'image du plan à l'infini sur le plan de la rétine.



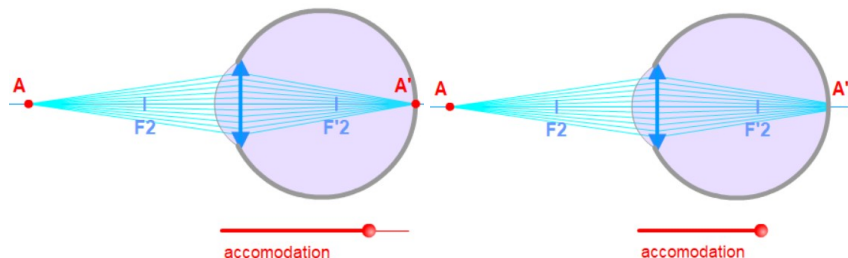
Hypermétropie : Ce défaut est plus fréquemment observé chez les enfants et se corrige parfois tout seul avec le passage à l'âge adulte.

Pour l'œil hypermétrope, l'image d'un objet à l'infini se fait derrière la rétine. Pour compenser, on place cette fois-ci une lentille convergente devant l'œil.



Presbytie : Ce défaut concerne la quasi-totalité de la population, il apparaît plus ou moins tôt selon les cas et est caractéristique de l'avancée en âge des sujets.

L'œil presbyte ne peut plus accommoder aussi bien que dans sa jeunesse, ce qui entraîne une augmentation de la valeur du PP. On corrige ce problème en plaçant une lentille convergente devant l'œil à utiliser uniquement pour l'observation de près.



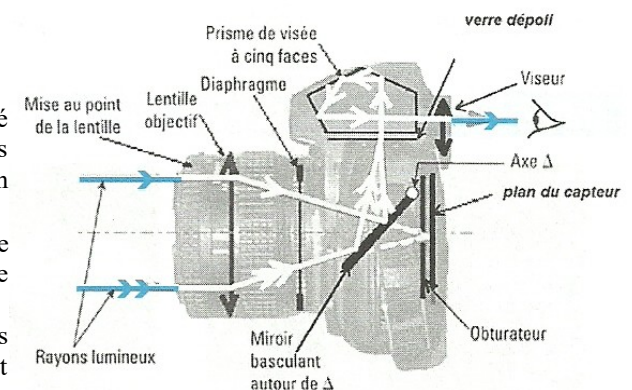
4. L'appareil photographique numérique.

4.1. Présentation générale et modélisation.

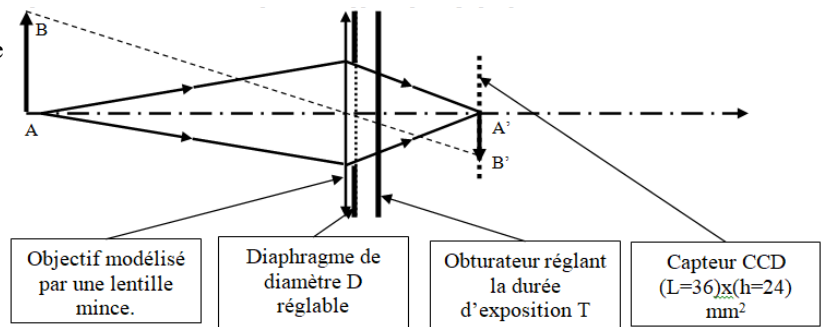
Un appareil photographique commercial est généralement réalisé avec un objectif constitué d'un ensemble complexe de plusieurs lentilles permettant d'assurer une bonne qualité de l'image en évitant :

- Les distorsions géométriques de l'image dues à une utilisation de l'instrument en dehors des conditions de Gauss.

Les distorsions chromatiques de l'image dues à la dispersion des longueurs d'onde dans le verre constitutif des lentilles. En utilisant des verres de natures différentes pour constituer les lentilles de l'objectif, on arrive à réduire très fortement ces problèmes. A l'aide du système de prévisualisation la lumière entrant dans l'appareil est guidé jusqu'au système de visée. Une fois la position et les réglages finalisés, l'utilisateur déclenche une prise de vue pour laquelle le miroir basculant est positionné horizontalement, et l'obturateur est ouvert pendant une durée d'exposition choisie permettant l'enregistrement d'une image par le capteur.



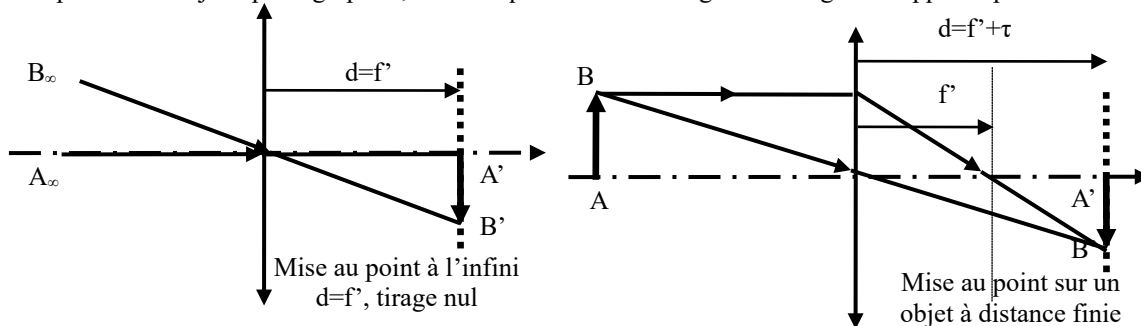
On peut ramener la structure complexe de l'appareil photographique au schéma suivant :



4.2. Modélisation réduite, objectif et caméra CCD. Rôle du tirage.

On le modélise donc dans sa plus simple expression par :

- Une lentille mince convergente de focale f' , fixe pour les appareils photos à objectif simple (par exemple sur un smartphone $f' \approx 25\text{mm}$), variable si on utilise un objectif complexe permettant d'effectuer des zooms (classiquement sur un boîtier basique on monte un objectif où f' varie de 35mm à 85mm).
- Un capteur CCD (de dimension $3,42 \times 4,54\text{mm}^2$ sur les smartphone, et $24 \times 36\text{mm}^2$ dans les boîtiers photo classique) sur lequel on réalise l'image. Il est nécessaire de pouvoir déplacer ce capteur CCD par rapport à l'objectif pour faire le point sur l'objet à photographier, c'est ce qu'on réalise en réglant le tirage de l'appareil photo.



- Le tirage est nul lorsque l'appareil fait le point sur un objet à l'infini, le capteur CCD est alors dans le plan focal de l'objectif, configuration équivalente au punctum remotum de l'œil.
- Le tirage est maximal lorsque l'appareil fait le point sur un objet le plus proche possible, configuration équivalente au punctum proximum de l'œil.

4.3. Complément à la modélisation. Exposition et profondeur de champ.

En complément des deux éléments de base, objectif et caméra CCD, on a vu sur le schéma complet deux autres éléments essentiels pour maîtriser la qualité des prises de vue effectuée :

- Un **diaphragme de diamètre a** placé dans le plan de l'objectif dans une modélisation simple, influence l'exposition de l'image photographiée en faisant varier la surface à travers laquelle la lumière passe, et la profondeur de champ par un processus que l'on va étudier par la suite.
- Un obturateur ouvert pendant une durée d'exposition T vient suppléer le diaphragme pour le réglage de l'exposition de l'image.

L'exposition est donc la grandeur qui contrôle la quantité de lumière qui va entrer dans la chambre noire de l'appareil photographique, on comprend aisément qu'elle dépend de la durée d'ouverture de l'obturateur et du diamètre du diaphragme. Plus la durée d'ouverture est grande plus la photo est exposée, plus le diaphragme est grand, plus la photo est exposée.

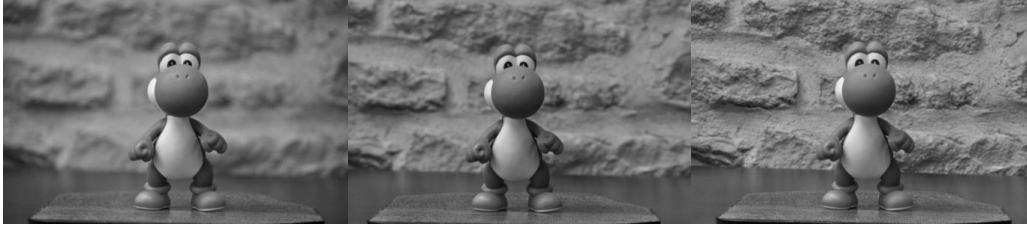


Série de trois photographies, sous exposée, exposée correctement et surexposée.

On s'interroge alors légitimement sur l'intérêt de contrôler à la fois le diaphragme de l'appareil et la durée d'exposition puisque les deux paramètres jouent le même rôle.

La **profondeur de champ** est un autre paramètre essentiel pour comprendre les caractéristiques d'une photographie :

- En réglant le tirage de l'appareil photographique, on fait le point sur un plan de front situé à une distance D devant l'objectif.
- On observe alors que des objets situés en dehors de ce plan de front sont vus nets sur la photographie. Il existe donc un domaine spatial le long de l'axe optique de l'objectif $[-D_{\max} ; -D_{\min}]$ entourant le plan de front conjugué avec la caméra CCD où les objets sont vus nets. On parle alors de **profondeur de champ**, elle est définie par la donnée du domaine $[-D_{\max} ; -D_{\min}]$.
- On va montrer que cette profondeur de champ peut être contrôlée par le réglage du diamètre du diaphragme.



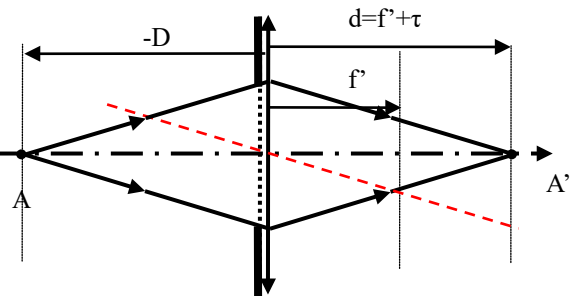
Série de trois photographies bien exposées. La mise au point est faite sur yoshi, le mur en arrière plan est de plus en plus net en allant de gauche à droite dans la série.

Construction pour l'étude de la profondeur de champ.

Dans l'AD2, on a déjà réalisé la construction de la profondeur de champ pour un objet situé à l'infini, on reprend le même exercice mais pour un objet situé à distance finie.

On étudie d'abord la construction du point image associé à un point objet sur l'axe optique et construire le faisceau lumineux entrant dans l'appareil photo.

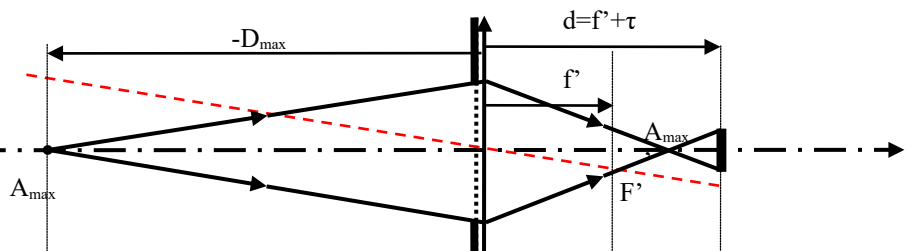
A partir du point objet A on réalise alors un point image A' vu net sur la photographie car on a réglé le tirage de l'appareil pour que ce soit le cas.



- Tous les points situés entre $A_{\max}$ et $A_{\min}$ sur l'axe optique sont également vus nets par l'appareil photographique car la tache image associée est plus petite qu'un pixel de l'appareil et qu'elle est donc confondue avec un point.

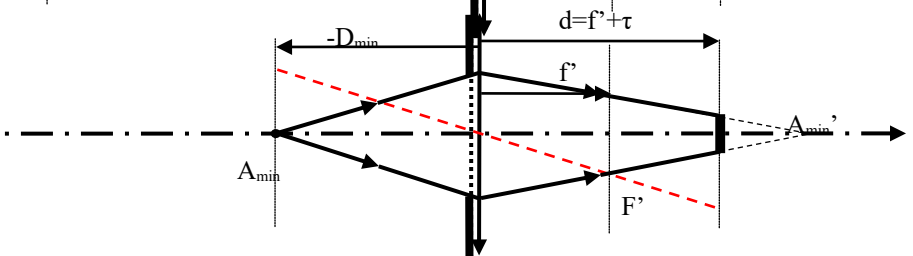
Pour $A_{\max}$ situé plus loin de l'objectif, $A_{\max}'$ est situé avant la caméra d'où la construction suivante.

Lors de la construction, on observe que $A_{\max}'$ se rapproche de l'objectif lorsque le diamètre a de ce dernier diminue, ce qui entraîne que $A_{\max}$ s'éloigne.



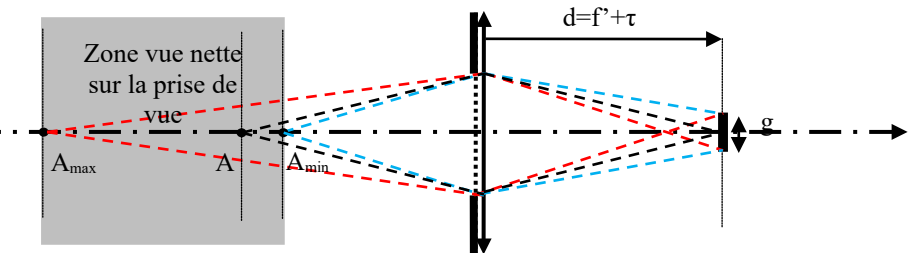
Pour $A_{\min}$ situé plus près de l'objectif, $A_{\min}'$ est situé après la caméra d'où la construction suivante.

Lors de la construction, on observe que $A_{\min}'$ s'éloigne de l'objectif lorsque le diamètre a de ce dernier diminue, ce qui entraîne que $A_{\min}$ se rapproche.



Finalement, on obtient la situation suivante donnant la profondeur de champ de la prise de vue.

En combinant les deux constructions, on observe que $A_{\max}$ s'éloigne lorsque a diminue et que $A_{\min}$ se rapproche lorsque a diminue, et **on conclut que la profondeur de champ augmente lorsque le diamètre a du diaphragme diminue.**



Le calcul des positions de $A_{\max}$ et $A_{\min}$ sous la condition $D \gg f'$ amène aux résultats suivants qui ne sont absolument pas à connaître :

Pour $A_{\max}$ le long de l'axe optique le théorème de Thalès donne $\frac{\overline{OA_{\max}}}{a} = \frac{\overline{A_{\max}'A'}}{g}$ ce qui donne $\overline{OA_{\max}'} = \frac{a}{a+g} \overline{OA'}$

Les relations de conjugaison de Descartes donnent $-\frac{1}{\overline{OA_{\max}}} + \frac{1}{\overline{OA_{\max}'}} = \frac{1}{f'}$ et $-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'}$

On obtient alors $\frac{1}{\overline{OA_{\max}}} = -\frac{1}{D} + \frac{g}{a} \left(\frac{1}{f'} - \frac{1}{D} \right)$ de même : $\frac{1}{\overline{OA_{\min}}} = -\frac{1}{D} + \frac{g}{a} \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{f'} \right)$

On obtient après approximation pour la profondeur de champ $P = \frac{2 g a f' D^2}{a^2 f'^2 - g^2 D^2}$

Prenons des exemples pour illustrer :

- On fait l'image d'un paysage en faisant le point sur un arbre situé à 50m pour un appareil de focale 85mm, un diamètre du diaphragme de 3mm et un pixel de $1\mu\text{m}$, on obtient :
 $\overline{OA_{\max}} = -62\text{ m}$; $\overline{OA} = -50\text{ m}$; $\overline{OA_{\min}} = -42\text{ m}$ et une profondeur de champ de 20m.
- On fait un portrait en faisant le point sur un visage situé à 3m pour un appareil de focale 35mm, un diamètre du diaphragme de 1mm et un pixel de $1\mu\text{m}$, on obtient :
 $\overline{OA_{\max}} = -3,3\text{ m}$; $\overline{OA} = -3,0\text{ m}$; $\overline{OA_{\min}} = -2,8\text{ m}$ et une profondeur de champ de 50cm.

5. Exemples de systèmes à plusieurs lentilles.

5.1. Etude d'un système visant un point à distance finie : exemple du microscope.

On considère un microscope dans un modèle simple où on le ramène à un schéma à deux lentilles :

- La lumière pénètre dans le microscope par une première lentille qu'on nomme objectif de distance focale petite prise ici égale à $f'_1 = 5\text{mm}$ qui fait d'un objet AB observé une image primaire A_1B_1 .
 - Une seconde lentille nommée oculaire, qui sera ici une lentille de distance focale $f'_2 = 2,5\text{cm}$, fait alors de cette image primaire A_1B_1 une image secondaire A_2B_2 à l'infini de manière à ce que l'œil n'ait pas besoin d'accommoder pour observer nettement cette image.
 - Lors de la conception du microscope, un paramètre essentiel est l'intervalle optique défini comme étant la distance entre les foyers image de l'objectif et objet de l'oculaire : $\Delta = \overline{F'_1 F_2}$, pour les applications numériques, on prendra $\Delta = 25\text{cm}$.
- Construction d'un schéma du microscope.
 ➤ Position de l'objet étudié.
 ➤ Grandissement, puissance optique et grossissement commercial du microscope.

5.2. Etude d'un système visant un point à distance infinie : exemple d'une lunette astronomique.

On considère une lunette astronomique dans un modèle simple où on la ramène à un schéma à deux lentilles :

- La lumière pénètre dans la lunette par une première lentille qu'on nomme objectif de distance focale grande prise ici égale à $f'_1 = 600\text{mm}$ qui fait d'un objet AB observé à l'infini une image primaire A_1B_1 .
- Une seconde lentille nommée oculaire, qui sera ici une lentille de distance focale $f'_2 = 25\text{mm}$, fait alors de cette image primaire A_1B_1 une image secondaire A_2B_2 à l'infini de manière à ce que l'œil n'ait pas besoin d'accommoder pour observer nettement cette image.

A RETENIR :

- Un système optique qui fournit une image à l'infini à partir d'un objet à l'infini est dit afocal.
- La lunette astronomique est un exemple de système afocal.

- Construction d'un schéma de la lunette astronomique.
 ➤ Grossissement de la lunette astronomique.

Capacités exigibles

- Enoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences.
- Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.
- Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers, de la distance focale, de la vergence d'une lentille mince.
- Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie par une lentille mince à l'aide de rayons lumineux.
- Identifier la nature réelle ou virtuelle d'une image.
- Utiliser des longueurs algébriques le long d'un axe orienté.
- Formule de Descartes : exploiter et connaître les formules de conjugaison et de grandissement
- Formule de Newton : exploiter et connaître les formules de conjugaison et de grandissement.
- Établir et utiliser la condition $D \geq 4f'$ pour pouvoir former une image réelle d'un objet réel par une lentille convergente
- Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe.
- Connaître les ordres de grandeur de la plage d'accommodation et du pouvoir de résolution de l'œil
- Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur.
- Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné.