

Optique 1

Optique géométrique

PC*

Lycée Chaptal



1	Modèle de l'optique géométrique - Lois de Snell Descartes	3
I	Notion de rayon lumineux	3
II	Lois de Snell-Descartes	3
III	Angle de réfraction limite - Réflexion totale	4
2	Lentilles minces dans l'approximation de Gauss	6
I	Stigmatisme	6
II	Aberrations géométriques et chromatiques	7
III	Définition d'une lentille mince	7
IV	Foyers, plans focaux, distance focale	8
1	Foyers principaux objet et image	8
2	Distance focale - Notion de vergence	9
V	Tracés d'images pour les lentilles minces	9
VI	Relations de conjugaison - Grandissement	9
VII	Associations de deux lentilles - Instruments d'optique	11
VIII	Étude de l'œil	12
3	Travaux dirigés	13
4	Annexe : Tracés de rayons	23

Modèle de l'optique géométrique - Lois de Snell Descartes

I Notion de rayon lumineux

Cadre de l'optique géométrique

Dans le cadre de l'optique géométrique, les dimensions des obstacles et des diaphragmes qui se présentent sur le chemin de la lumière sont grandes devant la longueur d'onde. Le caractère ondulatoire de la lumière est alors négligé. En particulier, les phénomènes de diffraction ne sont pas significatifs.

Dans un milieu diélectrique linéaire, homogène, transparent et isotrope, la trajectoire de la lumière est un segment de droite que l'on appelle **rayon**.

Un tel milieu est caractérisé par son indice de réfraction $n > 1$. La célérité de la lumière dans ce milieu est $v = c/n$ avec c la célérité de la lumière dans le vide. Les indices de réfraction courants sont donnés dans le tableau I.

Milieu	Indice n
Vide	1
Air	1,000293
Eau	1,33
Verre	1,52

Tableau 1 : Exemples d'indices de réfraction courants

II Lois de Snell-Descartes

Soit un dioptre séparant deux milieux diélectriques linéaires homogènes transparents et isotropes d'indices respectifs n_1 et n_2 (figure II). Un rayon incident parvient sur ce dioptre en I en formant un angle i avec la normale au dioptre en I . Le **plan d'incidence** est le plan contenant le rayon incident et la normale au dioptre en I .

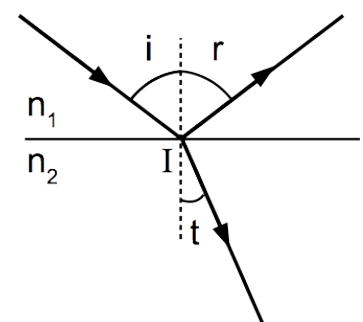


Figure 2 : Réfraction-Réflexion

Le rayon incident donne lieu à un rayon réfléchi et à un rayon réfracté.

Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes s'écrivent :

- le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence (*attention à ne pas oublier cette loi qui est pourtant très importante*);
- $i = r$;
- $n_1 \sin i = n_2 \sin t$.

Attention, les angles sont repérés par rapport à la normale au dioptre.

En particulier, on remarquera que si $n_2 > n_1$ (le milieu 2 est plus réfringent) alors le rayon réfracté se rapproche de la normale. À l'inverse, si $n_2 < n_1$ (le milieu 2 est moins réfringent) alors le rayon réfracté s'éloigne de la normale (voir figure 3).

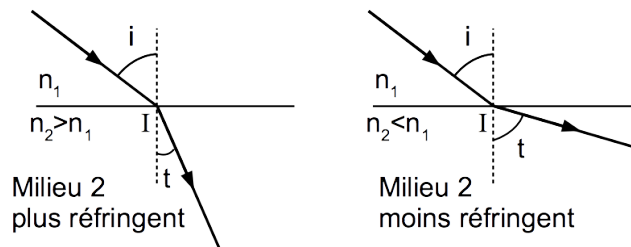


Figure 3 : Comportement du rayon réfracté

III Angle de réfraction limite - Réflexion totale

Dans le cas où $n_2 < n_1$, le rayon réfracté s'éloigne de la normale. Le cas limite est obtenu lorsque ce rayon réfracté est tangent au dioptre ($t = 90^\circ$) comme montré sur la figure 4. L'angle d'incidence limite i_l vérifie alors : $n_1 \sin i_l = n_2$. On peut donc écrire :

$$\sin i_l = \frac{n_2}{n_1}$$

Si le rayon incident est plus incliné ($i > i_l$) alors il y a **réflexion totale** sur le dioptre avec $i = r$.

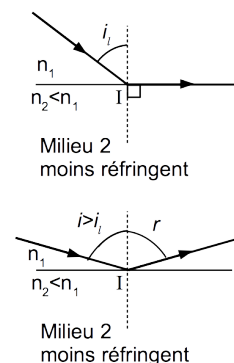


Figure 4 : Réflexion totale

1 Incidence de Brewster

Pour quelle valeur i_B de i le rayon réfracté est-il perpendiculaire au rayon réfléchi ? Cet angle est appelé angle de Brewster. Il a été abordé dans le TP polarisation. Faire l'application numérique pour un dioptre air-verre ($n_1 = 1$; $n_2 = 1,5$).

2 Fibre optique à saut d'indice

Le guidage de la lumière peut être assuré par des fibres optiques. Une fibre optique est constituée d'un cylindre de verre (ou de plastique) appelé cœur, entouré d'une gaine transparente d'indice de

réfraction plus faible (figure 5). la gaine contribue non seulement aux propriétés mécaniques de la fibre mais évite aussi les fuites de lumière vers d'autres fibres en cas de contact. Actuellement le diamètre du coeur d'une fibre varie de 3 à 200 μm selon les propriétés et le diamètre extérieur de la gaine peut atteindre 400 μm .

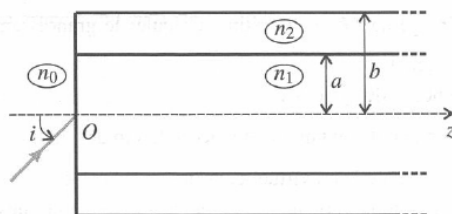


Figure 5 : Fibre optique à saut d'indice

On considère une fibre optique constituée d'un coeur cylindrique de rayon a et d'indice n_1 entouré d'une gaine d'indice n_2 inférieur à n_1 et de rayon b . les faces d'entrées et de sortie sont perpendiculaires à l'axe du cylindre (Oz) formé par la fibre. L'ensemble, en particulier la face d'entrée, est en contact avec le milieu extérieur d'indice n_0 qui sera pris égal à l'indice de l'air pour les applications numériques.

- 1** Un rayon lumineux arrive en O . On appelle i l'angle d'incidence sur la surface d'entrée de la fibre. Déterminer en fonction de n_0 , n_1 et n_2 la condition que doit satisfaire i pour que le rayon réfracté ait une propagation guidée dans le coeur. On appelle angle d'acceptance i_a de la fibre la valeur maximale de i . Donner l'expression de i_a .
- 2** On appelle ouverture numérique ON de la fibre la quantité $ON = n_0 \sin i_a$. Exprimer ON en fonction de n_1 et n_2 . Application numérique : calculer la valeur de ON pour $n_1 = 1,456$ (silice) et $n_2 = 1,410$ (silicone).
- 3** On envoie dans la fibre un faisceau lumineux avec tous les angles d'incidence i compris entre 0 et i_a . Calculer la différence $\delta\tau$ entre la durée maximale et la durée minimale de propagation d'un bout à l'autre de cette fibre. On exprimera le résultat en fonction de la longueur L de la fibre, des indices n_1 et n_2 et de la vitesse de la lumière $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Application numérique : $L = 1,00 \text{ km}$, donner la valeur de $\delta\tau$.
- 4** Le signal transporté par la fibre est constitué d'impulsions lumineuses d'une durée T_1 à intervalle régulier T . Quelle valeur minimale de T faut-il choisir pour que les impulsions soient distinctes à la sortie de la fibre? Proposer une définition de la bande passante en bits (ou nombre d'impulsions) par seconde. Comparer la valeur de la bande passante obtenue ici avec celle d'un téléphone portable (64 bits pas seconde) et celle de la télévision (100 Mbits pas seconde).

Lentilles minces dans l'approximation de Gauss

I Stigmatisme

Définition On parle de **stigmatisme rigoureux** pour un point A à travers un système optique si tous les rayons issus de A traversant le système optique passent par un même point A' en sortie du système optique (voir figure 6). A et A' sont alors dits **conjugués**.

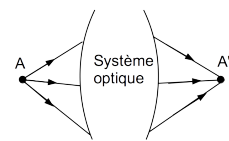


Figure 6 : Stigmatisme rigoureux

L'espace situé en amont du système optique (du point de vue de la propagation de la lumière) est appelé **l'espace objet**. L'espace situé en aval est **l'espace image**.

Un objet situé dans l'espace objet est appelé **objet réel**. S'il n'est pas dans l'espace objet, alors il est **virtuel**.

Une image située dans l'espace image est appelée **image réelle**. Si elle n'est pas dans l'espace image alors elle est **virtuelle**.

Si tous les rayons issus de A traversant le système optique ne passent pas par le même point A' mais au voisinage de celui-ci (le voisinage étant défini par la résolution du capteur utilisé : œil, caméra CCD...), alors on parle de **stigmatisme approché**.

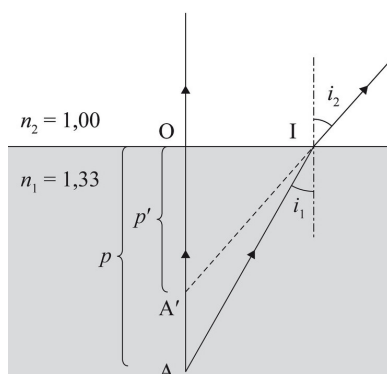
Le **miroir plan** est un système rigoureusement stigmatique.

3 Miroir plan

- 1 Représenter l'image A' d'un point A à travers un miroir plan. A' est-il réel ou virtuel ?
- 2 Représenter la trajectoire de 2 rayons issus de A traversant le miroir plan.

4 Dioptré plan

Le point objet A est situé dans le milieu d'indice n_1 . On note $p = \overline{OA}$. A émet des rayons lumineux dans toutes les directions. Considérons en particulier le rayon perpendiculaire au dioptré et celui formant un angle i_1 par rapport à la normale au dioptré. L'image de A par le dioptré pour ces deux rayons est notée A' . On paramètre $p' = \overline{OA'}$.

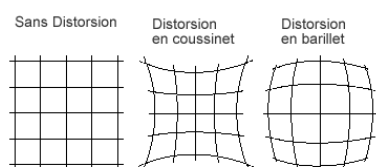


- 1 Établir l'expression de p' en fonction de p , n_1 , n_2 et i_1 . Le dioptre plan est-il un système stigmatique ?
- 2 À quelle condition a-t-on stigmatisme approché ? Quelle est alors la relation de conjugaison ?

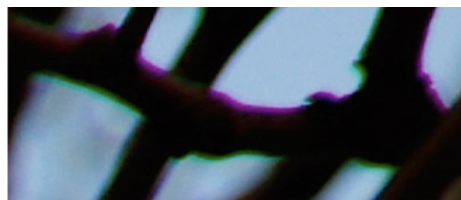
II Aberrations géométriques et chromatiques

Si le système optique n'est pas stigmatique, il y a déformation de l'image. On parle alors d'**aberration géométrique**.

La déformation de l'image peut également être due au fait que le système optique ne fait pas converger au même endroit les rayons de longueurs d'ondes différentes, pourtant issus d'un même point A . Le bleu converge en un endroit différent du rouge. Ceci est causé par le caractère dispersif des matériaux transparents constituant le système optique. On parle alors d'**aberration chromatique**.



a



b

Figure 7 : a) Exemples d'aberrations géométriques (l'image de la grille de gauche peut être déformée en l'une des deux grilles de droite) ; b) Exemple d'aberration chromatique (l'image de la branche par le système de mise au point de l'appareil photographique présente des zones rouges et des zones vertes, montrant la différence de mise au point pour ces deux longueurs d'onde).

III Définition d'une lentille mince

Une lentille est un milieu transparent homogène isotrope limité par deux dioptries sphériques ou un dioptre sphérique et 1 dioptre plan.

Les lentilles **convergentes** sont dites à bords minces (plus étroites aux bords qu'au centre) (figure 8).

Les lentilles **divergentes** sont dites à bords épais.

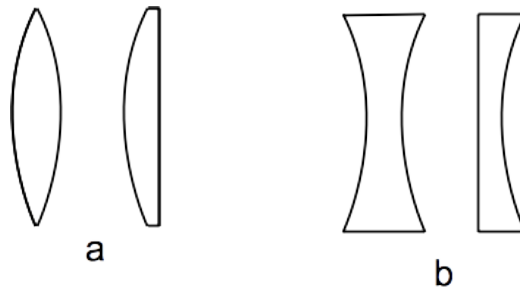


Figure 8 : a) Lentilles convergentes ; b) Lentilles divergentes

Dans le cas d'une lentille mince, l'épaisseur de la lentille est négligée.
L'axe de révolution d'une lentille est appelé **axe optique**.

Définition Un système optique est **aplanétique** :

- s'il est stigmatique,
- et si l'image B' d'un point B situé au voisinage d'un point A et dans le même plan perpendiculaire à l'axe optique, se forme dans le même plan perpendiculaire à l'axe optique que A' , le conjugué de A .

Conditions de Gauss

- Les rayons sont peu éloignés de l'axe optique,
- les rayons forment un angle petit par rapport à l'axe optique.

Dans les conditions de Gauss, les lentilles minces vérifient un stigmatisme approché et un aplanétisme approché.

IV Foyers, plans focaux, distance focale

1 Foyers principaux objet et image

Le **foyer principal objet** est le point F de l'axe principal dont l'image est à l'infini sur l'axe.

Le **foyer principal image** est le point F' de l'axe principal où l'image d'un point objet à l'infini sur l'axe se forme.

L'expérience montre que ces deux foyers sont :

- réels pour une lentille convergente,
- virtuels pour une lentille divergente,
- symétriques l'un de l'autre par rapport au centre optique O .

Le **plan focal objet** est le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F . Tous les points de ce plans sont appelés **foyers secondaires objets**.

Le **plan focal image** est le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F' . Tous les points de ce plans sont appelés **foyers secondaires images**.

2

Distance focale - Notion de vergence

On appelle **distance focale objet** f la mesure algébrique $\overline{OF}$.

On appelle **distance focale image** f' la mesure algébrique $\overline{OF'}$.

La symétrie du système par rapport au centre optique conduit à : $f = -f'$

Pour une lentille convergente : $f < 0$ et $f' > 0$;

Pour une lentille divergente : $f > 0$ et $f' < 0$.

On appelle **vergence** v d'une lentille mince : $v = \frac{1}{f'}$. Elle est exprimée en dioptries δ ($1\delta = 1 \text{ m}^{-1}$).

Lentille convergente : $v > 0$

Lentille divergente : $v < 0$.

V

Tracés d'images pour les lentilles minces

Voir document annexe. Tous les tracés doivent être maîtrisés sans aucune hésitation. J'attire votre attention sur les cas où l'objet est virtuel et le cas des lentilles divergentes.



Règles pour les tracés à suivre **OBLIGATOIREMENT** :

- un objet/une image se représente par une flèche,
- si l'objet/l'image est réel(le), la flèche est en trait plein, si l'objet/l'image est virtuel(le), la flèche est en pointillés ;
- les rayons sont toujours orientés ;
- on utilise une règle pour tracer les rayons, même en colle ;
- on utilise des couleurs différentes pour différencier les rayons ;
- les trajets effectivement empruntés par la lumière sont en traits pleins, les prolongations en pointillés ;
- les rayons ne rebrousse jamais chemin (sauf sur un miroir) : ils pointent toujours dans la même direction ;
- l'objet est à l'intersection des rayons entrant dans le système optique, l'image à l'intersection des rayons sortant du système optique ;
- les rayons de construction sont à tracer en pointillés et à indiquer.

VI

Relations de conjugaison - Grandissement

Relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

Relation de conjugaison de Newton : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$

Grandissement d'une lentille mince : $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{F'A'}}{f} = \frac{f'}{\overline{FA}}$

Ces grandissements se retrouvent avec le théorème de Thalès.



Pour trouver la position d'une image connaissant celle de l'objet et réciproquement, on utilise l'une des relations de conjugaison, jamais le grandissement.

Pour trouver la taille de l'image connaissant celle de l'objet et réciproquement, on utilise le grandissement, jamais les relations de conjugaison.



Remarque importante : les relations de conjugaison font intervenir des mesures algébriques qui peuvent être positives ou négatives. Si A est situé avant O , il ne faut pas oublier que $\overline{OA} < 0$.

5

Formation d'une image réelle par une lentille convergente

Soient un objet AB , une lentille mince convergente L de distance focale image $f' > 0$, de foyers objet F et image F' . Un écran E est placé à la distance D fixée de l'objet. On note $A'B'$ l'image de AB par la lentille sur l'écran. On pose : $x = \overline{OA}$ et $\overline{AA'} = D$.

Notez que x est négatif.

- 1** En utilisant la loi de Chasles, déterminer $\overline{OA'}$ en fonction de D et x .
- 2** En utilisant la relation de conjugaison avec origine au centre optique O , montrer que :
 - si $D > 4f'$ alors il existe deux positions possibles de la lentille pour observer une image nette ;
 - si $D = 4f'$ alors il n'existe qu'une seule position de la lentille pour observer une image nette ; celle-ci est à mi-distance de OA et de l'écran (on parle de position $2f - 2f$). Faire un schéma des rayons lumineux dans ce cas. Vérifier alors par le calcul que l'image $A'B'$ a la même taille que AB mais qu'elle est inversée.
 - si $D < 4f'$ alors il n'existe pas de position possible de la lentille permettant d'observer une image nette.
- 3** Dans le cas où $D > 4f'$, exprimer la distance d entre les deux positions de la lentille. On montrera que les deux positions de la lentille sont symétriques par rapport au milieu du segment AA' ($x = -D/2$).
- 4** Montrer que :

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 - \frac{4}{D}f'$$



La clé de ce type d'exercices est de toujours faire un schéma de l'action des deux lentilles :

$$A \xrightarrow{(L_1)} A_1 \xrightarrow{(L_2)} A_2$$

et d'appliquer les relations de conjugaison à (L_1) et/ou à (L_2) . Attention dans ce cas à l'origine des relations de conjugaison qui ne sont pas les mêmes pour les deux lentilles (O_1 et O_2).

6

Lunette de Galilée (d'après CCP MP)

Une lunette de Galilée comprend :

- un objectif assimilable à une lentille mince ($\mathcal{L}_1$), de centre O_1 et de vergence $V_1 = 5$ dioptries,
- un oculaire assimilable à une lentille mince ($\mathcal{L}_2$), de centre O_2 et de vergence $V_2 = -20$ dioptries.

a. Déterminer la nature et les valeurs des distances focales images f_1' et f_2' des lentilles.

b. La lunette est du type « afocal » :

- b.1. Préciser la position relative des deux lentilles, la valeur de la distance $d = \overline{O_1 O_2}$ et l'intérêt d'une lunette afocale.
- b.2. Dessiner, dans les conditions de Gauss, la marche d'un rayon lumineux incident, issu d'un point objet à l'infini, faisant un angle θ avec l'axe optique et émergeant sous l'angle θ' .
- b.3. En déduire le grossissement (ou grandissement angulaire) de cette lunette en fonction des angles θ et θ' , puis des distances focales f_1' et f_2' . Valeur du grossissement ?

c. Un astronome amateur utilise cette lunette, normalement adaptée à la vision d'objets terrestres, pour observer deux cratères lunaires : Copernic (diamètre : 96 km) et Clavius (diamètre : 240 km). **Rappel** : Distance Terre – Lune : $D_{TL} = 384\,000$ km.

c.1. L'astronome voit-il ces deux cratères lunaires :

- à l'œil nu ? (Acuité visuelle : 3×10^{-4} rad)
- à l'aide de cette lunette ? Justifier vos réponses.

c.2. La planète Vénus, de 12 150 km de diamètre, occultera Jupiter (de diamètre 145 800 km) le 22 novembre 2065.

Notre astronome amateur (qui sera certainement confirmé), pourra-t-il observer à l'œil nu ou à l'aide de sa lunette le disque jovien occulté par Vénus ? Dans cette configuration, la distance Terre-Vénus sera $D_{TV} = 45 \times 10^6$ km.

7

Principe du microscope

Un objectif, assimilé à une lentille mince L_1 de distance focale f_1' , donne d'un objet réel situé en avant de son foyer objet F_1 , très proche de celui-ci, une image réelle $A_1 B_1$. Cette image est agrandie par l'oculaire, assimilé à une lentille mince L_2 , jouant le rôle d'une loupe de distance focale f_2' .

Si $A_1 B_1$ est située dans le plan focal objet de l'oculaire, l'image définitive $A' B'$ est rejetée à l'infini.

Soit un microscope pour lequel $f_1' = 5$ mm, $f_2' = 20$ mm, la distance $\overline{F_1' F_2'}$ (notée D , l'intervalle optique) est de 18 cm.

- 1 L'observateur met au point de façon à observer l'image définitive à l'infini. À quelle distance de l'objectif l'objet se trouve-t-il ?
- 2 La puissance d'un microscope est le rapport $P = \alpha'/AB$ (α' : angle sous lequel l'observateur voit l'image définitive). Donner sa valeur dans le cas précédent.
- 3 Le grossissement du microscope est défini par le rapport $G = \alpha'/\alpha$ avec α l'angle sous lequel l'observateur verrait l'objet sans le microscope si celui-ci était situé au PP (à une distance d_m). Montrer que $G = P.d_m$.

VIII Étude de l'œil

8 Pouvoir séparateur de l'œil

- 1 Pour un œil, les limites d'accommodation sont le Ponctum Proximum (PP) et le Ponctum Remotum (PR). Après avoir donné le schéma optique équivalent de l'œil, rappeler les définitions de Ponctum Proximum et de Ponctum Remotum. Que valent ces deux distances dans le cas d'un œil « normal » ?
- 2 Un œil normal observe sans accommoder des objets à l'infini. Son pouvoir séparateur angulaire est de l'ordre de $\Delta\alpha = 5.10^{-4}$ rad. Peut-on en déduire un ordre de grandeur de la largeur h des cellules photosensibles de la rétine ? La distance focale image f' du cristallin, considéré comme une lentille mince vaut : $f' = 1,5$ cm.
- 3 Un objet ponctuel A se trouve dans le champ de vision à une distance finie $d = 1$ m. Si $R = 1$ mm est le rayon de la pupille de l'œil (diaphragme), déterminer le rayon r de la tache image associée à cet objet lorsque l'œil n'accomode pas. L'objet est-il vu net par la personne ?

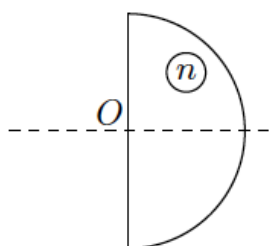
9 Correction d'un œil hypermétrope

Un œil hypermétrope possède la même faculté d'accommodation qu'un œil normal (la variation de dioptrie du cristallin entre les deux accommodations extrêmes est : $\Delta V = 4$) sauf que son Ponctum Proximum est à 50 cm. Quelle doit être la vergence d'un verre correcteur (une lentille mince), placé à $e = 1$ cm du cristallin, pour que le Ponctum Remotum de l'ensemble soit à l'infini ? Où est alors situé le PP de l'ensemble œil + verre correcteur ?

Travaux dirigés

10 A Song of Ice and Fire**

Un homme a réussi à créer du feu avec un bloc de glace. Il a sculpté l'élément pour lui donner les mêmes propriétés qu'une loupe ; le bloc de glace présente la forme d'une demi-sphère. On parle de lentille plan-convexe ou de demi-boule. Le rayon de la lentille est $R = 7$ cm et l'indice de réfraction de la glace est $n = 1,33$.



À quelle distance de la paille à embraser l'homme doit-il positionner le centre de la lentille ?

11 Mirage**

L'indice d'un milieu transparent varie avec l'altitude z . On considère un rayon lumineux issu de O et faisant un angle i_0 avec Oz .

- 1 À la côte z , ce rayon lumineux fait un angle $i(z)$ avec Oz . Quelle est la relation entre $i(z)$ et $n(z)$?
- 2 Montrer que la courbe décrite par le rayon vérifie l'équation :

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{1}{2(n_0 \sin i_0)^2} \frac{d(n^2)}{dz}$$

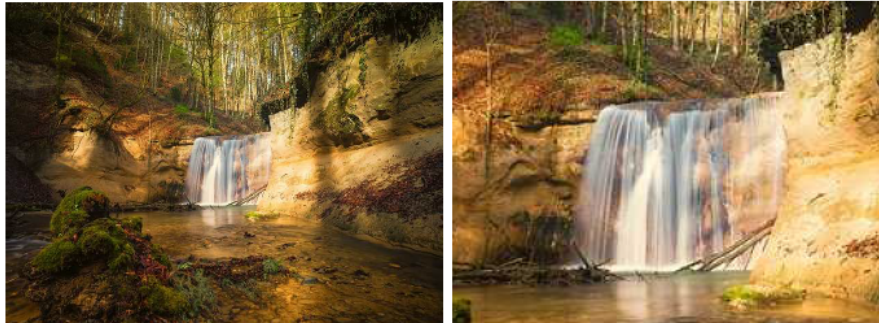
- 3 Donner les courbes décrites par les rayons qui passent par O dans le cas où : $n(z) = n_0(1-kz)^{1/2}$.
- 4 On place un objet AB couché sur l'axe Ox . Comment un observateur placé en O voit-il cet objet ? Peut-il toujours le voir ? Si non, à quelle distance maximale de O l'objet doit-il être situé ?

12

Focale d'un appareil photographique*

L'objectif d'un appareil photographique présente un paramètre essentiel, sa focale (distance focale f') généralement exprimée en millimètres (de 17 à 300 mm).

Parmi les deux photos ci-dessus, laquelle a été prise avec la plus grande focale ?



13

Photo de la Tour Eiffel**

Un appareil photographique possède un capteur numérique de $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$ comportant 2912×4368 pixels. Il est équipé d'un objectif à focale fixe, modélisé par une lentille mince convergente de distance focale image f' . Une photo d'un coucher de Soleil parisien a été réalisée avec en premier plan la tour EIFFEL et en arrière plan le quartier de la Défense :



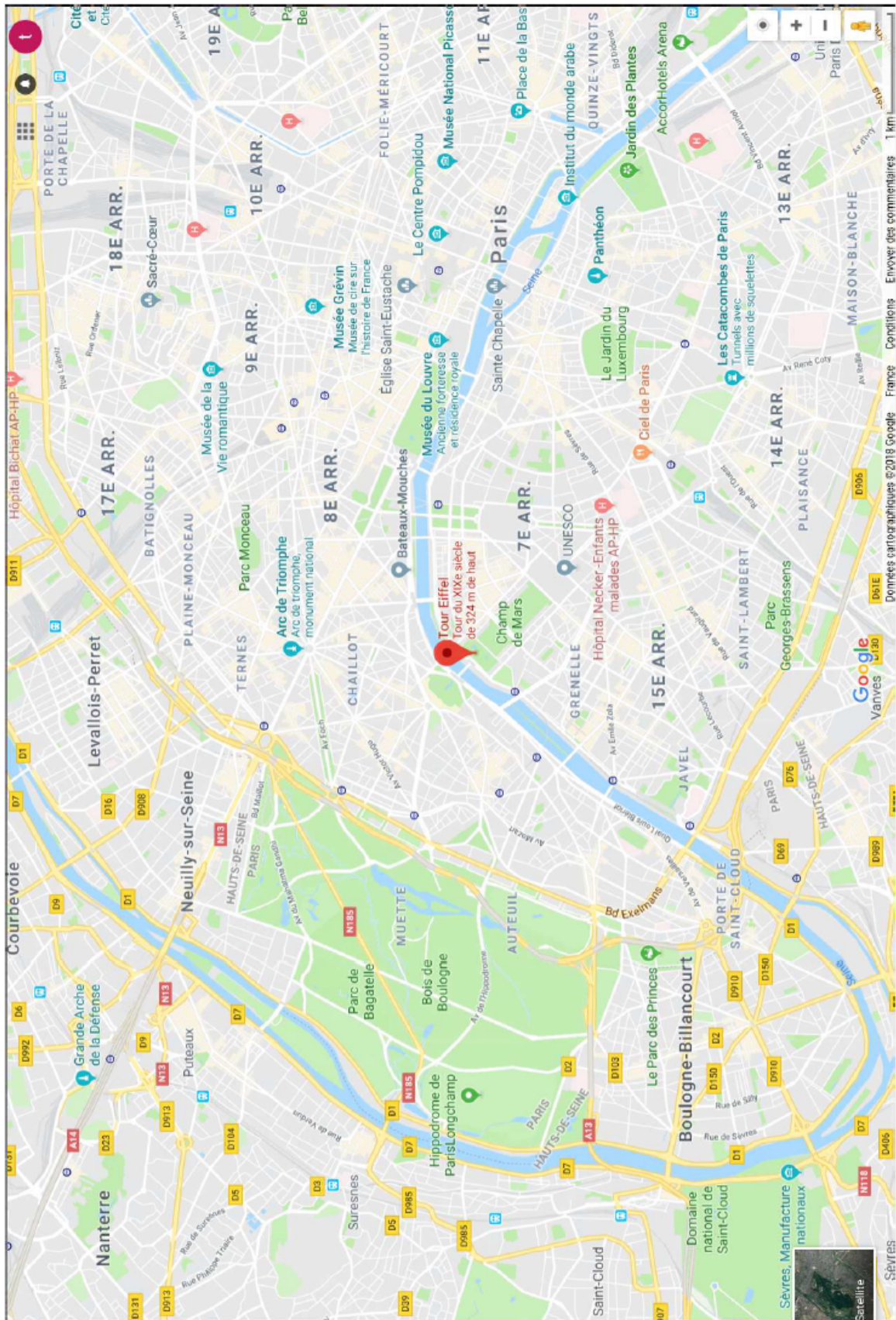
D'où cette photo a-t-elle été prise ?

Données

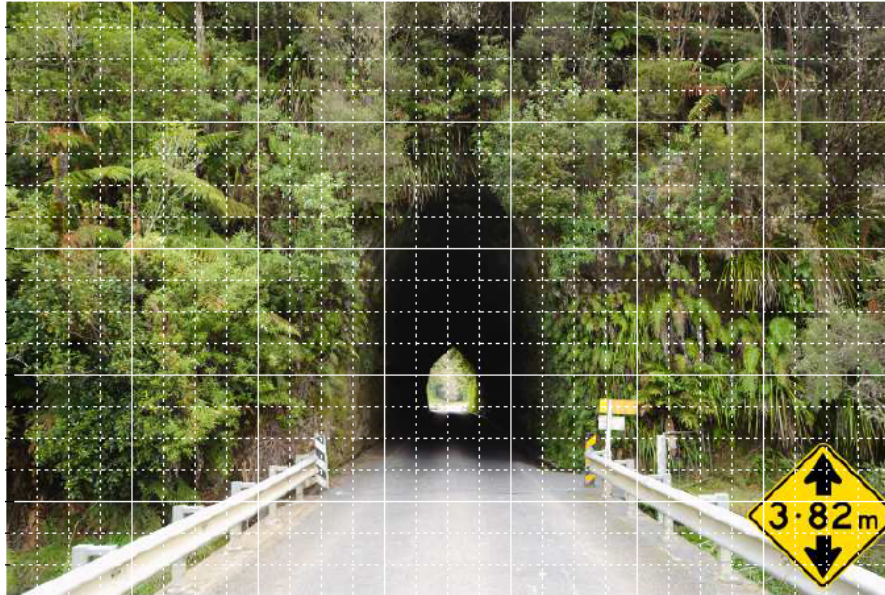
- Située à Paris, la tour EIFFEL est une tour de fer puddlé qui mesure actuellement 324 mètres de haut (contre 312 mètres à l'origine). Elle fut construite par Gustave EIFFEL et ses collaborateurs pour l'Exposition universelle de Paris de 1889.
- La Défense est un quartier d'affaires situé dans la Métropole du Grand Paris. La Grande Arche

de la Défense présente une hauteur de 110 m.

- Le Soleil est l'étoile du Système solaire, sa lumière parvient à la Terre après un trajet d'environ 8 minutes 20 secondes. Il présente un volume de $1,4 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$ pour une masse de $2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.
- Un extrait du plan de Paris :



Cette photo a été réalisée sur la “Okau Road” en Nouvelle Zélande à l'aide d'un Nikon D700 pour un temps d'exposition de 1/30 seconde à 200 iso pour une définition maximale. Une grille de repère a été ajoutée sur la photo.



Quelle est la profondeur du tunnel ?

Données : Caractéristique du Nikon D700

- Type : Reflex numérique
- Nombre de pixels (millions) : 12,1
- Définition (max) : 4256×2832 pixels
- Type de capteur : CMOS (origine Sony)
- Taille de capteur : $23,9 \times 36,0$ mm (Nikon FX)
- Coefficient de conversion : 1,0
- Sensibilité du capteur : 200 à 6400 ISO, mode étendu 100 à 12800 ISO, mode HI2 25600 ISO
- Objectif : Monture Nikon F, distance focale $f' = 35$ mm
- Zone de focus : Autofocus à détection de phase sur 51 collimateurs
- Mode du focus : Autofocus ponctuel (AF-S) ; autofocus continu (AF-C) ; manuel (M)
- Écran LCD : 7,62 cm (3,0 pouces), 640×480 pixels (921 600 points)
- Dimensions : (l $\times$ h $\times$ p) : $147 \times 123 \times 77$ mm
- Masse : 995 g (avec batterie)
- Alimentation : Batterie Nikon EN-EL3e (rechargeable lithium-ion 1500 mAh)

- Format Mémoire : CompactFlash type 1 (compatible UDMA 133)

15 Profondeur de champ*

Un appareil photographique possède un capteur numérique de $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$ comportant 2912×4368 pixels. Il est équipé d'un objectif à focale fixe, modélisé par une lentille mince convergente de distance focale image $f' = 50 \text{ mm}$. Un diaphragme réglable, plaqué contre l'objectif, permet de réduire la taille du faisceau lumineux entrant dans l'appareil.



Quelle photo a été réalisée avec la plus grande ouverture ?

Données :

- Le nombre d'ouverture (ou ouverture) d'un objectif photographique est défini par la formule : $N = f'/D$ dans laquelle N est l'ouverture, f' la distance focale de l'objectif de l'appareil photographique et D le diamètre d'entrée de la lumière à travers le diaphragme (diamètre de la pupille).
- La profondeur de champ correspond à la zone de prise de vue dans laquelle se situe l'objet à photographier pour en obtenir une image nette. Un objet ponctuel est considéré comme net tant que son image sur le capteur est une tache de diamètre inférieur à la largeur d'un pixel du capteur.

16 Téléobjectif **

Un objectif photographique est constitué d'une lentille convergente L_1 de centre O_1 , de distance focale image $f'_1 = \overline{O_1 F'_1} = 75 \text{ mm}$. La pellicule Π est placée dans le plan focal image de l'objectif. On ajoute à cet objectif deux lentilles additionnelles :

- une lentille L_2 divergente, de centre O_2 et de distance focale $f'_2 = -25 \text{ mm}$, que l'on accole à L_1 ; on a ainsi $O_2 = O_1$;
- une lentille L_3 convergente, de centre O_3 et de distance focale $f'_3 = 100 \text{ mm}$, que l'on fixe devant le système $L_1 - L_2$. La distance $O_3 O_1$ est réglée de manière à ce que l'image d'un objet éloigné soit nette sur la pellicule.

- 1** Faire un schéma représentant les lentilles avec les positions relatives des centres optiques et des foyers. Compléter ce schéma par un tracé de rayons définissant la position du foyer image F' de ce téléobjectif constitué par l'ensemble $L_1 - L_2 - L_3$.
- 2** Calculer l'encombrement de cet appareil, c'est-à-dire la distance du centre O_3 de L_3 à la pellicule Π .
- 3** Calculer la grandeur $\overline{A'B'}$ de l'image d'une tour $\overline{AB}$ de 60 m de hauteur, située à une distance $d = 3$ km de l'objectif.
- 4** Calculer l'encombrement d'un appareil qui aurait comme objectif une seule lentille donnant une image de même grandeur. Conclusion.

17

Étude simplifiée d'un objectif de photocopieur**

Les procédés actuels de reprographie nécessitent la formation de l'image du document sur une surface photosensible par l'intermédiaire d'un objectif de reproduction. On désire reproduire un document de format A4 soit en A4 (même format), en A3 (format double en surface) ou en A5 (format moitié en surface). On réalise ces différents tirages à l'aide d'un objectif en modifiant la position respective des lentilles à l'intérieur du système.

- 1** La distance entre le document et le récepteur photosensible est de 384 mm et l'on positionne une première lentille mince divergente L_1 de distance focale image $f'_1 = -90$ mm à 180 mm du récepteur (cf figure 1 ci dessous).
 - a.** Placer sur la figure 1 les points focaux image et objet F'_1 et F_1 de L_1 .
 - b.** Tracer l'image A_1B_1 de AB par L_1 . Les 3 rayons de construction sont attendus.
 - c.** L'image A_1B_1 est-elle réelle ou virtuelle ? Retrouver ce résultat par le calcul. La lentille L_1 peut-elle donner une image du document sur le récepteur ?
- 2** On ajoute alors une lentille mince L' convergente devant la lentille L_1 à 180 mm du document (cf figure 2) de distance focale image $f' = 57,3$ mm.
 - a.** Placer sur la figure 2 les points focaux image et objet F' et F de L . On placera à nouveau F'_1 et F_1 . Construire sur la figure 2 l'image intermédiaire $A'B'$, image de AB par L' . Construire sur la même figure la nouvelle image finale A_1B_1 , image de $A'B'$ par L_1 . 2 rayons seulement sont demandés pour chacune des deux images.
 - b.** L'image A_1B_1 est-elle maintenant sur le récepteur ? Justifier par le calcul.
 - c.** En déduire le grandissement linéaire algébrique γ_1 de l'association des deux lentilles et indiquer quel type de tirage cet objectif permettra : transformation de A4 en A3 ou de A4 en A5.
 - d.** Tracer sur la figure 3 la trajectoire du rayon dessiné partant de A à travers le doublet optique étudié.
- 3** En fait la lentille L' est constituée de deux lentilles accolées : L_2 et L_3 , L_2 étant identique à L_1 .
 - a.** Donner, après l'avoir redémontrée, l'expression de la distance focale image f' de la lentille L' , équivalente au doublet (L_2, L_3) , en fonction de f'_2 et f'_3 .
 - b.** En déduire la distance focale image f'_3 de la lentille L_3 . Quelle est la nature de cette lentille

mince ?

- 4** On glisse alors la lentille L_3 afin de l'accoler à L_1 . La lentille L_2 quant à elle reste à sa position.
- a.** Montrer par un raisonnement physique (sans calcul) que l'image du document reste sur le récepteur.
 - b.** Toujours par un raisonnement physique (sans calcul également), relier γ_2 , le grandissement linéaire algébrique correspondant à l'association de ces trois lentilles, à γ_1 .
 - c.** En déduire le type de tirage obtenu.

Figure 1 :

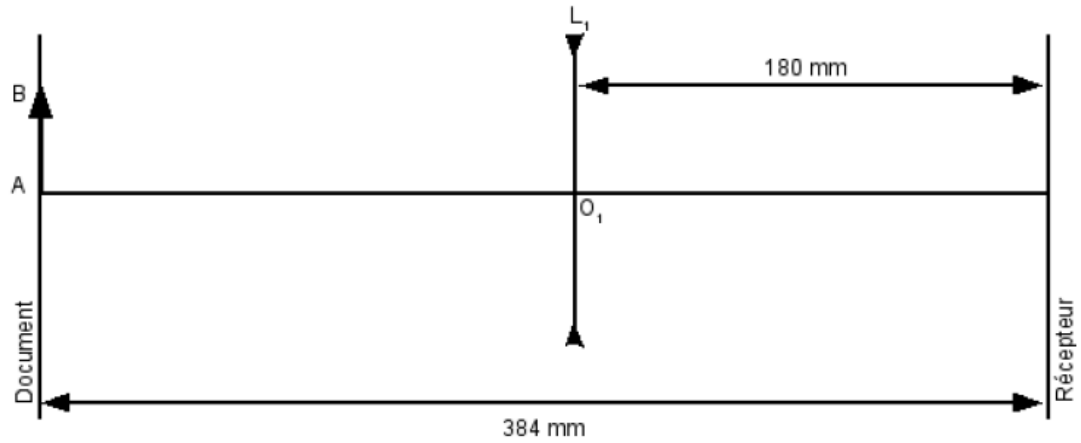


Figure 2 :

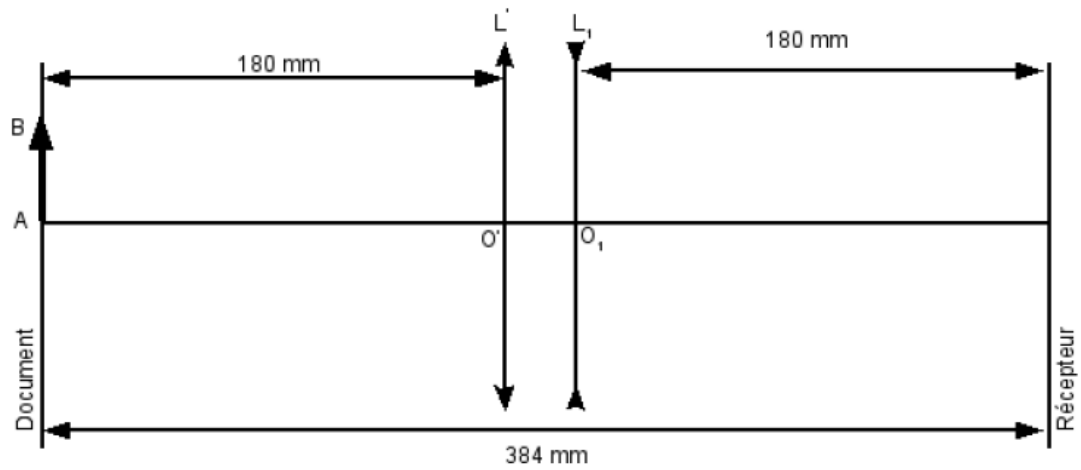
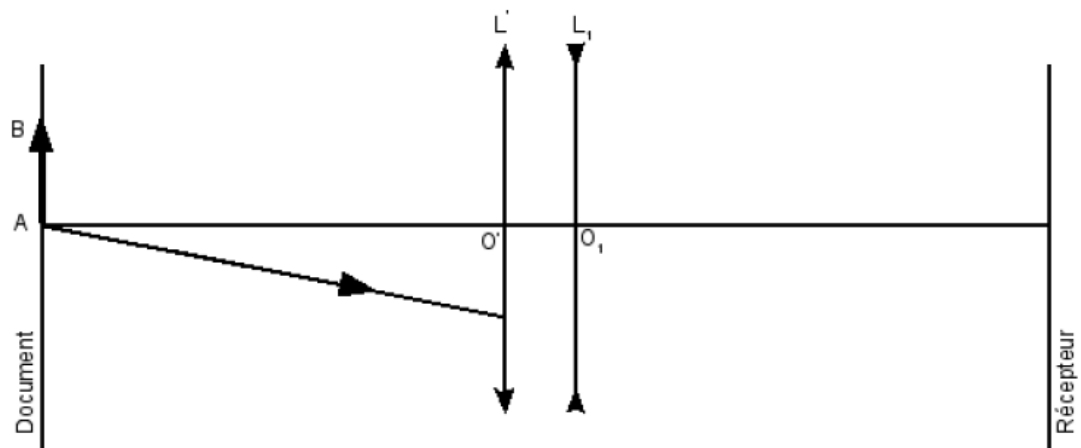
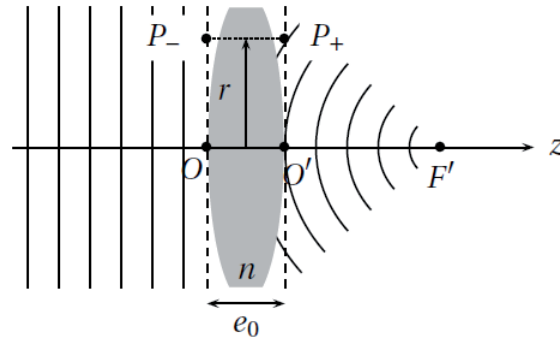


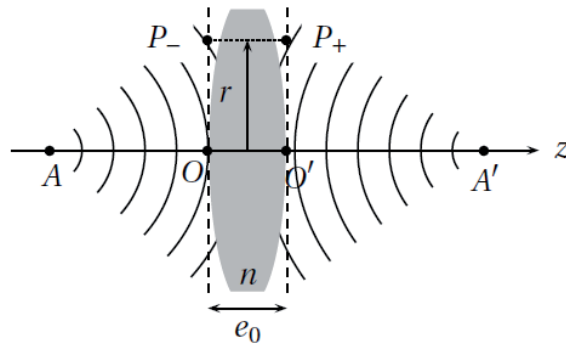
Figure 3 :



stigmatisme de la lentille.



- 2** On envisage maintenant un couple de points conjugués : A est l'objet et A' l'image.



Exprimer les chemins optiques $(AOO'A')$ et (AP_-P_+A') .

Montrer que le stigmatisme de la lentille permet de retrouver la relation de conjugaison de Descartes.

19 Loupe d'horloger **

La loupe d'horloger considérée est une lentille convergente de distance focale $f' = 5$ cm, fixée à une distance $e = 1$ cm de l'œil. L'objet est placé à une distance variable d de la loupe.

- 1** L'observateur est légèrement myope : son œil a un PP situé à $d_m = 20$ cm et un PR situé à $D_m = 1$ m. Pour quelles valeurs de d voit-il une image nette et non renversée de l'objet ?
- 2** On se limite aux valeurs de d précédemment définies. L'objet, qui a une hauteur (perpendiculairement à l'axe optique) h de 1 mm, est vu sous un angle α' .

Exprimer α' en fonction de d .

Étudier sommairement la fonction $\alpha'(d)$, déterminer les positions où α' est maximal et minimal.

20 Rayon dans un système de lentilles **

Un rayon lumineux traverse un système de N lentilles minces, identiques, convergentes, de vergence $\delta = \frac{1}{f'}$, parallèles et régulièrement espacées d'une distance a sur le même axe optique (Ox) .

- 1** Considérons l'une de ces lentilles. Le rayon lumineux y arrive avec une incidence α (angle par

rapport à la direction de l'axe optique), en un point N d'ordonnée y (distance à l'axe optique). Il en ressort avec une inclinaison α' (angle par rapport à la direction de l'axe optique). Déterminer une relation entre α , α' , y et δ .

- 2** On suppose que les lentilles sont suffisamment proches l'une de l'autre ($a \ll f'$) pour pouvoir assimiler le rayon lumineux à une courbe d'équation $y = y(x)$ dont la dérivée est continue. Établir l'équation différentielle que vérifie $y(x)$. Résoudre cette équation en supposant que le premier rayon passe par O sur l'axe optique avec un angle α_0 .

21

Fibre optique à gradient d'indice (d'après oral X)

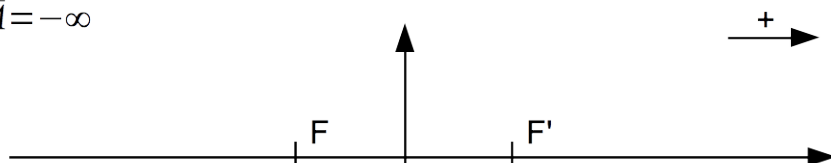
On veut réaliser un guidage de faisceau lumineux par une fibre optique à gradient d'indice tel que le trajet des rayons soit sinusoïdal. Comment faire ?

Annexe : Tracés de rayons

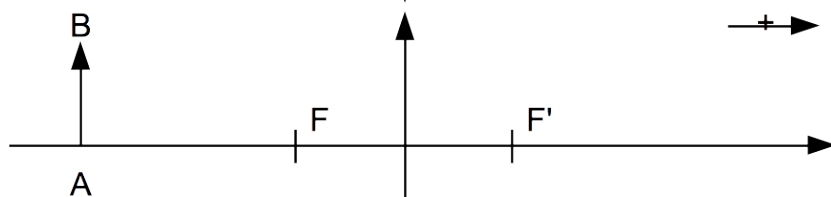
Tracés d'images pour les lentilles minces

Lentilles convergentes

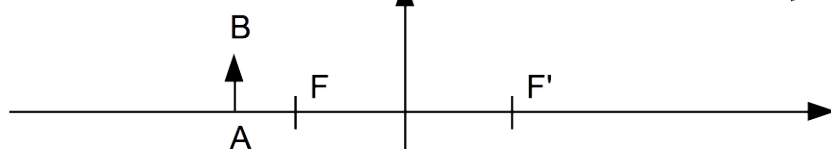
$$\overline{OA} = -\infty$$



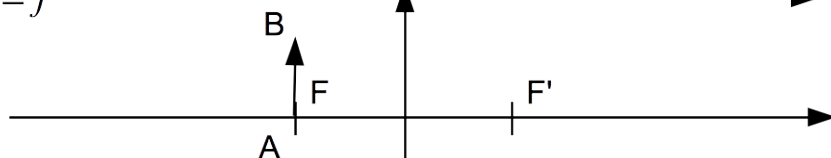
$$\overline{OA} < 2f$$



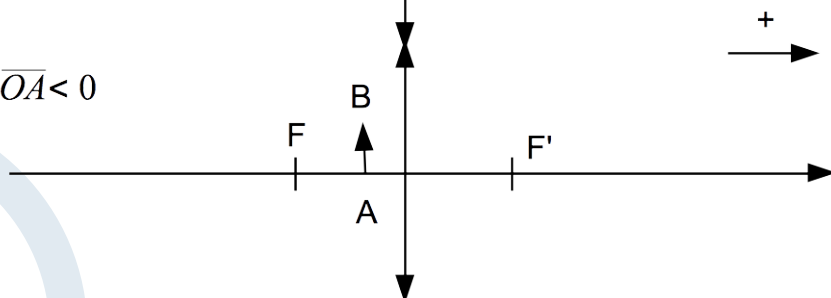
$$2f < \overline{OA} < f$$



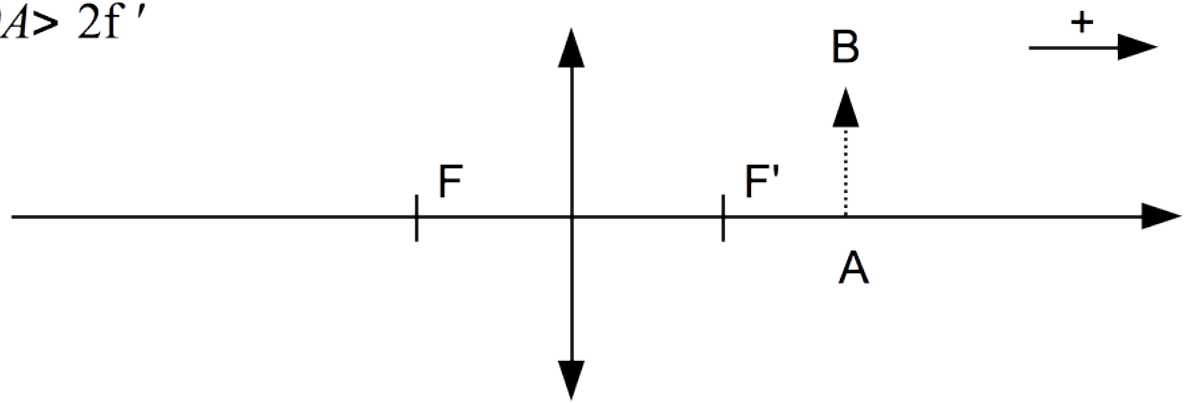
$$\overline{OA} = f$$



$$f < \overline{OA} < 0$$

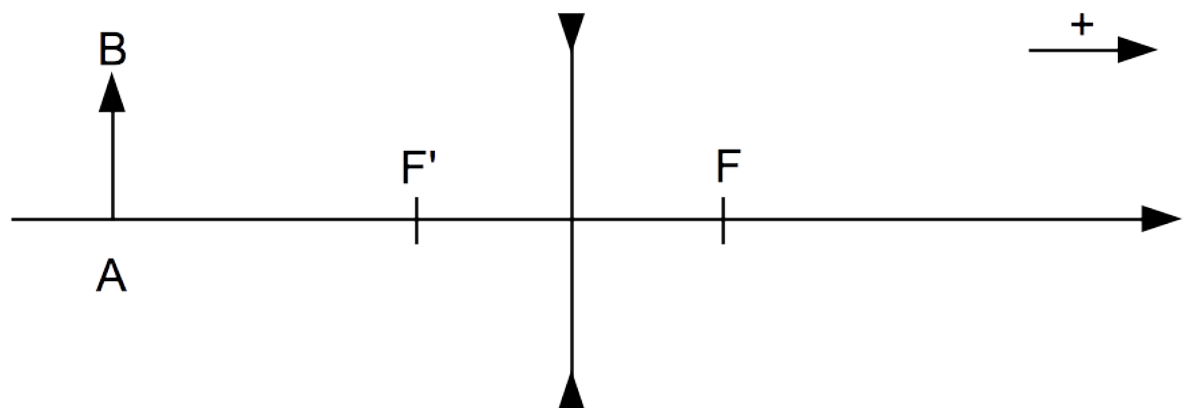


$$\overline{OA} > 2f'$$

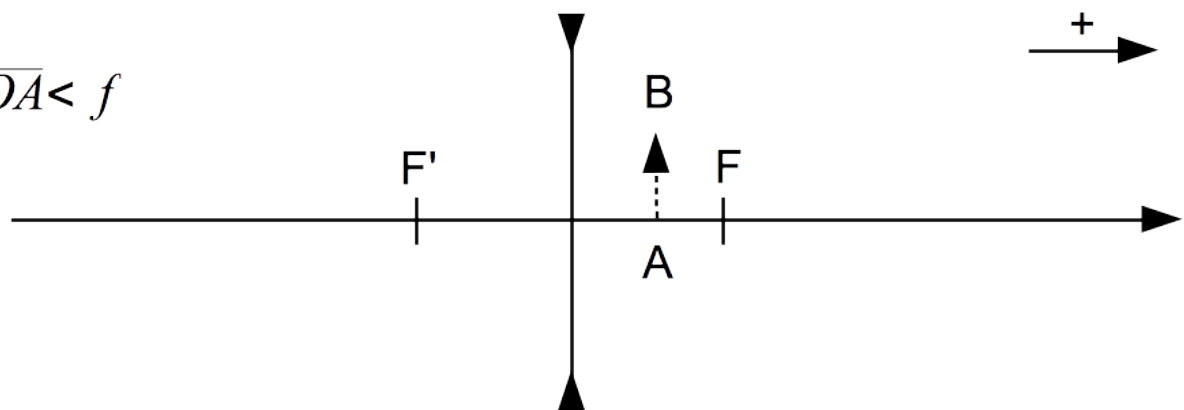


Lentilles divergentes

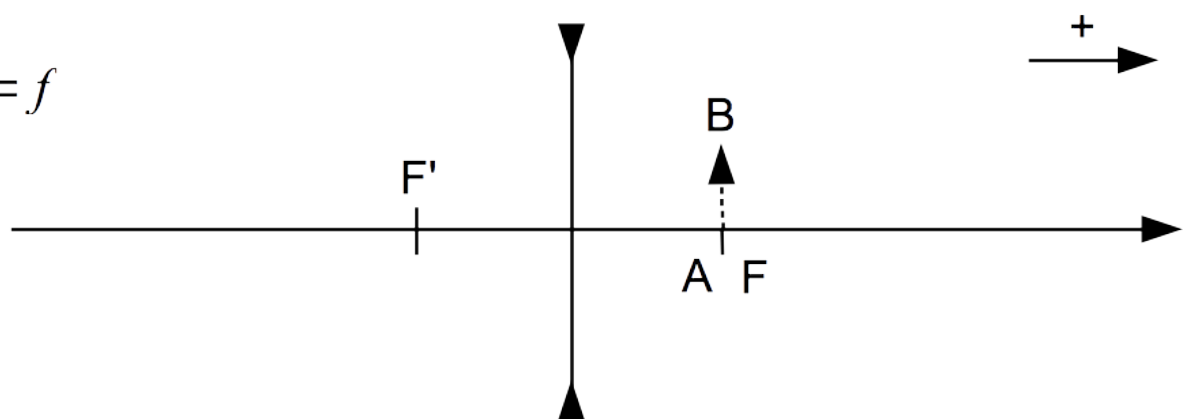
$$\overline{OA} < 0$$



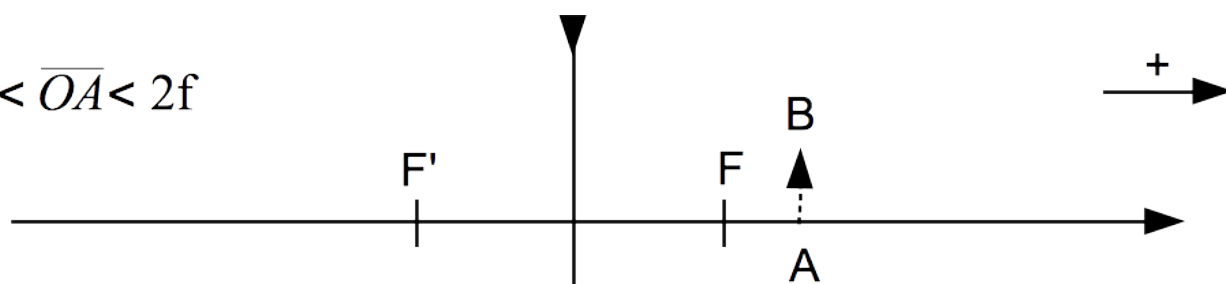
$$0 < \overline{OA} < f$$



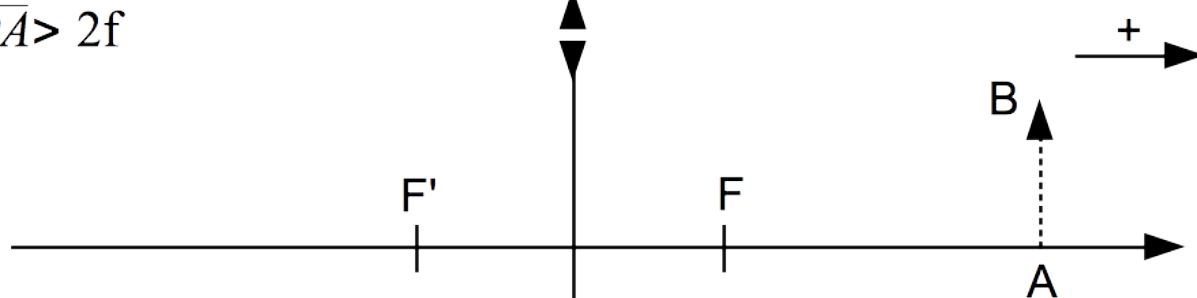
$$\overline{OA} = f$$



$$f < \overline{OA} < 2f$$



$$\overline{OA} > 2f$$



Tracé de rayons

