

Images & couleurs

Lentilles minces convergentes, construction et calcul d'images, perception et synthèses des couleurs

Spécialité Physique-Chimie

Première

CAPACITÉS EXIGIBLES — PROGRAMME OFFICIEL 2019

- Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet plan réel.
- Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.
- Tester la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente.
- Réaliser une mise au point en modifiant soit la distance focale de la lentille, soit la géométrie du montage optique.
- Interpréter la couleur perçue d'un objet à partir de celle de la lumière incidente et des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission.
- Choisir le modèle de la synthèse additive ou celui de la synthèse soustractive selon la situation à interpréter.
- Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente.

1 La lentille mince convergente

1.1 Définitions

Une **lentille** est un milieu transparent délimité par deux surfaces (dioptries) dont l'une au moins n'est pas plane. Lorsque l'épaisseur de la lentille est petite devant les rayons de courbure de ses deux faces, on peut la modéliser par une **lentille mince**.

Il existe deux familles de lentilles : les lentilles à bords minces, dites **convergentes** (à faces convexes), et les lentilles à bords épais, dites **divergentes** (à faces concaves). Le programme de première ne traite que des **lentilles minces convergentes**, que l'on modélise par un schéma en double flèche.

DÉFINITION

Une lentille mince convergente est caractérisée par deux dioptries sphériques de centres de courbure C_1 et C_2 , de rayons R_1 et R_2 . Tout rayon lumineux parallèle à l'axe optique qui la traverse converge après la lentille.

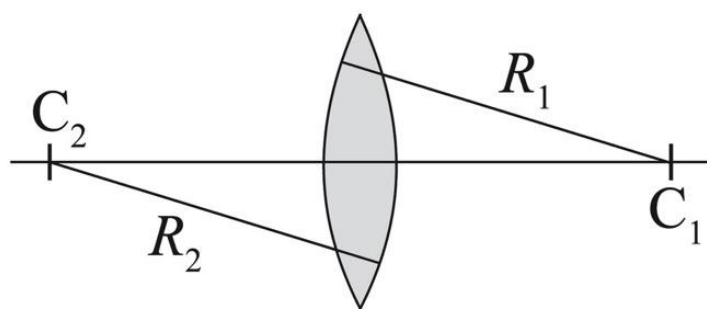


Fig. 1 — Une lentille mince, délimitée par deux dioptries sphériques de rayons R_1 et R_2 , de centres de courbure C_1 et C_2 .

1.2 Caractéristiques et représentation

Une lentille mince convergente est caractérisée par son centre optique O , son foyer objet F et son foyer image F' , tous situés sur l'axe optique (Δ), axe de symétrie de la lentille.

- sa **distance focale** $\overline{OF'} = f'$, exprimée en mètre (m) ;
- sa **vergence** $C = \frac{1}{f'}$, exprimée en dioptrie (δ).

Plus une lentille est bombée, plus sa distance focale est courte et plus sa vergence est élevée : elle dévie davantage les rayons lumineux. Par exemple, une loupe usuelle a une distance focale de quelques centimètres seulement, alors qu'un objectif de rétroprojecteur peut atteindre 25 cm.

CONVENTION DE SIGNE

En optique, on utilise systématiquement des **valeurs algébriques** : on compte positivement de la gauche vers la droite (sens de propagation de la lumière) et du bas vers le haut. Une grandeur algébrique possède à la fois une norme et un sens. Ainsi, pour une lentille convergente, $\overline{OF} < 0$ (F est à gauche de O) et $\overline{OF'} > 0$ (F' est à droite de O).

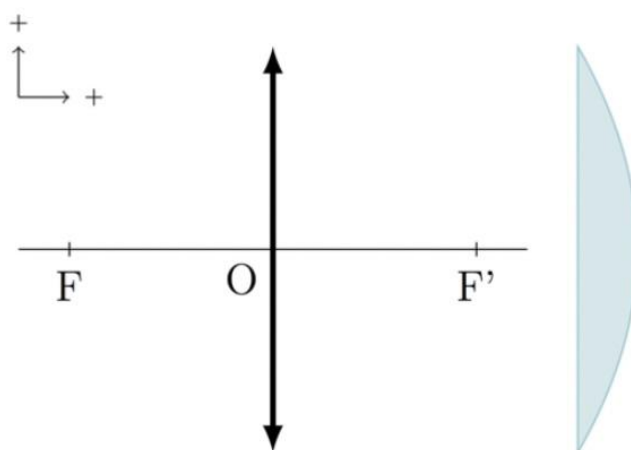


Fig. 2 — Schématisation d'une lentille convergente et orientation conventionnelle des axes.

2 Formation d'une image

2.1 Rayons particuliers

Pour construire géométriquement l'image A'B' d'un objet AB, on utilise trois rayons issus de B dont la trajectoire à travers la lentille est connue :

RÈGLES DE CONSTRUCTION

- Tout rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié.
- Tout rayon parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image F'.
- Tout rayon passant par le foyer objet F émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.

L'intersection de deux quelconques de ces trois rayons émergents suffit à localiser le point B', puis à en déduire A' par projection sur l'axe optique.

2.2 Nature de l'image

IMAGE RÉELLE / IMAGE VIRTUELLE

Une **image réelle** peut être observée sur un écran : les rayons lumineux convergent effectivement en ce point après la lentille. Une **image virtuelle** ne peut pas être recueillie sur un écran : seuls les prolongements géométriques des rayons émergents se croisent (l'œil, placé après la lentille, la perçoit néanmoins).

Une image est dite **droite** si elle a le même sens que l'objet, **renversée** si elle est inversée. Elle est **agrandie** si elle est plus grande que l'objet, **réduite** si elle est plus petite. Ces caractéristiques dépendent uniquement de la position de l'objet par rapport à F et à 2F, comme le résume le tableau du paragraphe 3.4.

3 Relation de conjugaison et grandissement

3.1 Relation de conjugaison de Descartes

La **relation de conjugaison de Descartes** relie algébriquement la position $\overline{OA}$ d'un objet sur l'axe optique à la position $\overline{OA'}$ de son image, pour une lentille de distance focale f' .

À CONNAÎTRE

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OF'}} = C$$

Cette relation, démontrable à partir du théorème de Thalès appliqué aux triangles formés par les rayons de construction, est valable quelle que soit la position de l'objet réel sur l'axe (à condition que O, A et A' soient correctement repérés algébriquement).

3.2 Le grandissement

Le **grandissement** γ (lettre grecque gamma) compare la taille de l'image à celle de l'objet.

À CONNAÎTRE

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

Le grandissement est une grandeur sans unité (le rapport de deux longueurs), mais il est **algébrique** :

- si $\gamma > 0$, l'image est **droite** (même sens que l'objet) ;
- si $\gamma < 0$, l'image est **renversée** ;
- si $|\gamma| > 1$, l'image est **agrandie** ; si $|\gamma| < 1$, elle est **réduite**.

3.3 Exemple résolu

EXEMPLE CHIFFRÉ

Une lentille convergente de distance focale $f' = 2,0$ cm forme l'image d'un objet AB de hauteur 2,0 cm placé en $\overline{OA} = -3,0$ cm.

Position de l'image — d'après la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{2,0} + \frac{1}{-3,0} = 0,167 \text{ cm}^{-1}$$

soit $\overline{OA'} \approx +6,0$ cm.

Grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{6,0}{-3,0} = -2,0$$

Comme $\gamma < 0$ et $|\gamma| > 1$: l'image est **renversée et agrandie** (deux fois plus grande que l'objet, soit $A'B' = 4,0$ cm). Comme $\overline{OA'} > 0$, l'image se situe après la lentille : elle est **réelle**, on peut la recueillir sur un écran (voir construction Fig. 3 ci-dessous).

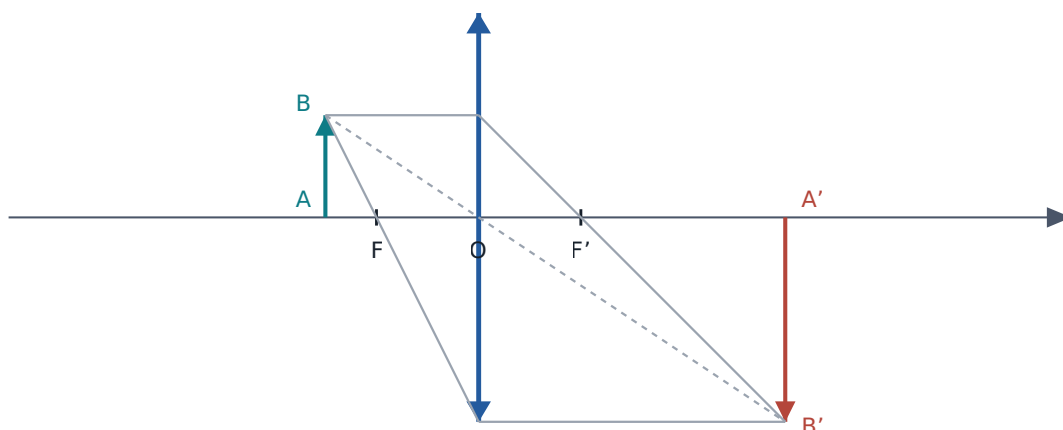


Fig. 3 — Construction des trois rayons caractéristiques pour l'exemple ci-dessus (objet entre F et $2F$, image réelle renversée agrandie).

3.4 Tableau récapitulatif

Nature de l'image selon la position de l'objet par rapport à F et $2F$

Position de l'objet	Position de l'image	Nature	Sens	Taille
Au-delà de $2F$ ($\overline{OA} < -2f'$)	Entre F' et $2F'$	Réelle	Renversée	Réduite
Exactement en $2F$	En $2F'$	Réelle	Renversée	Identique
Entre F et $2F$	Au-delà de $2F'$	Réelle	Renversée	Agrandie
Exactement en F	À l'infini	—	—	—
Entre O et F ($\overline{OA} > -f'$)	Du même côté que l'objet	Virtuelle	Droite	Agrandie

4 Détermination expérimentale de la distance focale

La relation de conjugaison peut être testée expérimentalement en formant l'image réelle d'un objet lumineux sur un écran et en mesurant les distances correspondantes.

1

Placer un objet lumineux (diapositive, filament) devant une lentille convergente de vergence connue.

2

Positionner un écran après la lentille et le déplacer pour obtenir une image nette (mise au point).

3

Mesurer les distances $\overline{OA}$ (lentille–objet) et $\overline{OA'}$ (lentille–écran).

4

Calculer f' grâce à la relation de conjugaison et la comparer à la valeur attendue.

5

Répéter la mesure pour plusieurs positions de l'objet et calculer une valeur moyenne de f' .

POINT DE VIGILANCE

Une seule mesure ne permet pas de valider une relation physique : il faut répéter le protocole pour plusieurs positions de l'objet afin de vérifier que la valeur de f' obtenue est reproductible, puis d'en estimer l'incertitude.

→ Exercices 34, 35 p. 369 ; 57, 58 et 61 p. 371 ; 62 p. 372 ; 74 p. 373

5 La couleur des objets et de la lumière

5.1 Perception par l'œil : la trichromie

La perception de la lumière repose sur deux types de cellules photosensibles de la rétine. Les **bâtonnets** détectent de faibles intensités lumineuses mais ne distinguent pas les couleurs. Les **cônes**, moins sensibles mais spécialisés, se répartissent en trois types : les cônes S (« short waves »), sensibles au bleu ; les cônes M (« medium waves »), sensibles au vert ; les cônes L (« long waves »), sensibles au rouge.

TRICHROMIE

L'activité combinée des trois types de cônes permet au cerveau de reconstruire une sensation de couleur unique à partir de seulement trois signaux : c'est le principe de la **trichromie**, à la base de tous les écrans couleur.

5.2 Couleur des objets : absorption, diffusion, transmission

Lorsqu'une lumière incidente atteint un objet, trois phénomènes peuvent se produire simultanément, dans des proportions qui dépendent du matériau (Fig. 4) :

- **Transmission** : la lumière traverse l'objet sans changer de direction (cas d'un matériau transparent, comme un filtre coloré) ;
- **Diffusion** : la lumière est renvoyée par la surface de l'objet dans toutes les directions (cas d'un objet opaque diffusant) ;
- **Absorption** : une partie de la lumière est convertie en une autre forme d'énergie, le plus souvent thermique.

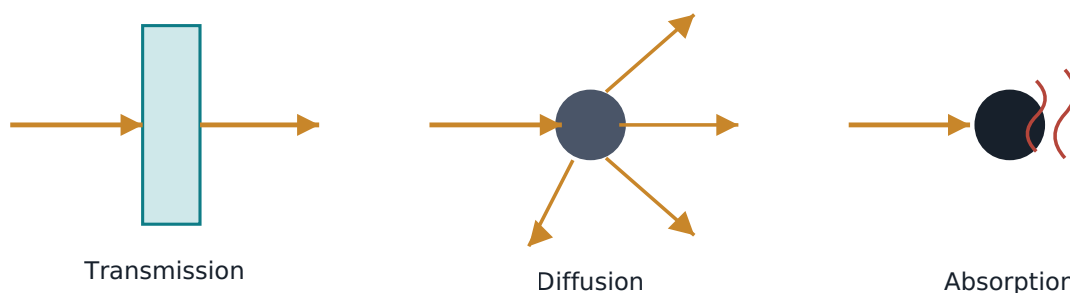


Fig. 4 — Les trois devenir possibles d'une lumière incidente au contact d'un objet.

EXEMPLE

Une bille rouge éclairée en lumière blanche paraît rouge : elle diffuse le rouge et absorbe les autres couleurs. Plongée dans un liquide qui absorbe le rouge (comme un sirop de menthe), elle apparaît noire : la seule couleur qu'elle est capable de diffuser est justement celle qui est absorbée par le liquide avant même de l'atteindre.

5.3 Synthèse additive des couleurs

La **synthèse additive** consiste à superposer des **lumières colorées**. Les trois couleurs primaires de cette synthèse — rouge, vert et bleu (RVB, ou RGB en anglais) — correspondent directement aux trois types de cônes de la rétine. La superposition de deux primaires donne une couleur **secondaire**, et la superposition des trois donne du blanc (Fig. 5).



Fig. 5 — Synthèse additive : superposition des trois lumières primaires rouge, verte et bleue.

Couleurs obtenues par synthèse additive de deux primaires

Lumières superposées	Couleur obtenue
Rouge + Vert	Jaune
Vert + Bleu	Cyan
Rouge + Bleu	Magenta
Rouge + Vert + Bleu	Blanc

On distingue par ailleurs les **couleurs spectrales**, présentes dans le spectre de la lumière blanche et associées à une longueur d'onde précise (le jaune, par exemple, correspond à $\lambda_{\text{jaune}} \approx 570 \text{ nm}$), des **couleurs non spectrales**, comme le magenta, qui n'existent que par superposition d'autres lumières et auxquelles on ne peut donc associer aucune longueur d'onde.

5.4 Synthèse soustractive des couleurs

La **synthèse soustractive** correspond à l'absorption sélective de certaines lumières colorées par des filtres ou des pigments superposés. Ses trois couleurs primaires sont le magenta, le cyan et le jaune (CMJ, ou CMY en anglais) — précisément les couleurs secondaires de la synthèse additive (Fig. 6).



Fig. 6 — Synthèse soustractive : superposition des filtres primaires magenta, jaune et cyan sur fond blanc.

EXEMPLE

Un filtre jaune, éclairé en lumière blanche, absorbe le bleu et laisse passer le rouge et le vert : il transmet donc du jaune (synthèse additive de R et V après le filtre). Si l'on superpose ensuite un filtre cyan, qui absorbe le rouge, seul le vert traverse finalement les deux filtres : c'est bien le principe utilisé par les imprimantes à cartouches CMJ pour restituer toutes les couleurs à partir de trois encres seulement.

→ Exercices 43 p. 369 ; 67 p. 373 ; 82 p. 375

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Une lentille mince convergente est caractérisée par O, F, F' et sa distance focale $f' = \overline{OF'}$ (ou sa vergence $C = \frac{1}{f'}$).
- Trois rayons particuliers (passant par O, parallèle à l'axe, passant par F) suffisent à construire géométriquement une image.
- La relation de conjugaison $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$ et le grandissement $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$ permettent de calculer position, taille et nature de l'image.
- La couleur perçue d'un objet dépend de la lumière incidente et des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission qu'il subit.
- La synthèse additive (lumières RVB) et la synthèse soustractive (filtres CMJ) sont deux modèles complémentaires pour interpréter et prévoir des couleurs.

Ouverture : le modèle de la lentille mince convergente et celui de la trichromie se combinent dans un même instrument : l'appareil photographique, où un objectif (lentilles) forme une image réelle sur un capteur dont chaque pixel est sensible au rouge, au vert et au bleu.