LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

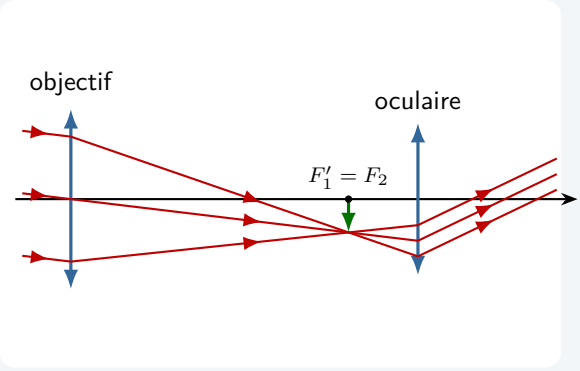
Classes préparatoires aux grandes écoles
MPSI — Physique-chimie
Année 2026-2027

FICHE RÉSUMÉ

03 OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Modèles de quelques dispositifs optiques

Instruments d'optique — L'œil — L'appareil photographique — La loupe — La lunette astronomique



« *On ne voit bien qu'avec le cœur. L'essentiel est invisible pour les yeux.*

— Antoine de Saint-Exupéry, *Le Petit Prince* (1943)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Lentille mince »

O3 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

Tous les instruments étudiés se modélisent par des **lentilles minces** dans les conditions de Gauss, associées à un **diaphragme** et à un **capteur** (rétine ou matrice de pixels). L'œil voit net en modifiant sa vergence (**accommodation**) car sa rétine est fixe ; l'appareil photographique, au contraire, déplace son capteur (mise au point) et règle la lumière reçue par le nombre d'ouverture N et la durée d'exposition. Les instruments visuels (loupe, lunette) augmentent le **diamètre apparent** et donnent de préférence une image à l'infini, observée sans fatigue.

I Instruments d'optique : généralités

Définition — Instruments objectifs et subjectifs, diamètre apparent, grossissement R

- Instrument **objectif** (de projection) : forme une image **réelle** sur un capteur ou un écran (appareil photo, projecteur). Instrument **subjectif** (visuel) : forme une image **virtuelle** regardée par l'œil (loupe, microscope, lunette), de préférence **à l'infini**.
- **Diamètre apparent** α : angle sous lequel un objet est vu depuis l'œil ; pour un objet de taille h à la distance $\ell \gg h$, $\alpha \simeq h/\ell$. Un objet à l'infini vu sous α donne, par une lentille de focale f', une image de taille $f'\alpha$ dans le plan focal image.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

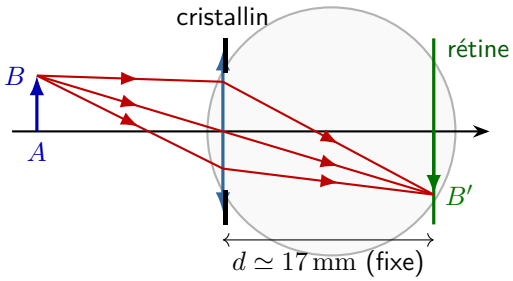
α' : diamètre apparent de l'image à travers l'instrument ; α : diamètre apparent de l'objet à l'œil nu (conditions à préciser).

II L'œil

Définition — Modèle de l'œil réduit R

- une **lentille mince convergente de vergence variable** (cornée + cristallin) ;
- un **diaphragme** : l'iris, d'ouverture (pupille) 2 à 8 mm ;
- un **capteur plan fixe** : la rétine, à $d \simeq 17\,\text{mm}$ de la lentille.

L'image doit se former sur la rétine : la distance d étant fixe, l'œil modifie la courbure du cristallin, donc sa vergence : c'est l'**accommodation**.



Définition — Punctum remotum, punctum proximum R

- **PR** : point le plus éloigné vu net **sans accommoder** (vergence minimale). Œil normal (**emmétrope**) : PR à l'infini, $V_{\text{min}} = 1/d \simeq 59\,\delta$.
- **PP** : point le plus proche vu net en accommodant au maximum. Œil normal adulte : $d_m \simeq 25\,\text{cm}$ (distance minimale de vision distincte), $V_{\text{max}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_m}$.
- **Amplitude d'accommodation** : $V_{\text{max}} - V_{\text{min}} = \frac{1}{d_{\text{PP}}} - \frac{1}{d_{\text{PR}}}$ ($\simeq 4\,\delta$ pour l'œil normal adulte) ; elle diminue avec l'âge (presbytie).

L'œil voit net de PR à PP ; regarder au PR est le plus reposant, d'où des images rejetées à l'infini.

Limite de résolution angulaire R

Deux points sont séparés si leurs images tombent sur deux cellules distinctes de la rétine (écart $\ell \simeq 4$ à $5\,\mu\text{m}$) :

$$\varepsilon \simeq \frac{\ell}{d} \simeq 3 \times 10^{-4}\,\text{rad} \simeq 1'$$

Un détail n'est perçu que si son diamètre apparent dépasse ε. La diffraction par la pupille ($\lambda/D \simeq 2 \times 10^{-4}\,\text{rad}$) donne une limite du même ordre.

Œil	PR et PP	Défaut	Correction
emmétrope	PR à l'infini, PP à $25\,\text{cm}$	—	—
myope	PR à distance finie, PP rapproché	trop convergent	lentille **divergente**
hypermétrope	PR virtuel (derrière l'œil), PP éloigné	pas assez convergent	lentille **convergente**
presbyte	PP éloigné (âge)	accommodation réduite	convergente pour la vision de près

☞ **Méthode — Choisir une lentille correctrice** M

La lentille donne d'un objet à l'infini une image virtuelle au **PR** de l'œil. Lentille de contact (accolée à l'œil en O) : $f'_c = \overline{O\,\text{PR}}$, négative pour un myope, positive pour un hypermétrope. Le nouveau PP est l'objet dont l'image par la lentille est l'ancien PP. Pour des lunettes à la distance e de l'œil, on compte les distances depuis le verre.

III L'appareil photographique

Définition — Modèle de l'appareil photographique R

Un **objectif** modélisé par une lentille convergente de focale f', un **diaphragme** de diamètre D réglable accolé à l'objectif, un **capteur** (CCD/CMOS, autrefois pellicule) à la distance $p' = \overline{OA'}$ réglable : la **mise au point** consiste à régler p' (pour un objet à l'infini, $p' = f'$).

$$N = \frac{f'}{D} \qquad \mathcal{E} \propto \frac{\tau}{N^2}$$

N : nombre d'ouverture (valeurs normalisées $1{,}4$; 2 ; $2{,}8$; 4 ; $5{,}6$; 8 ; 11 ; 16 ; 22, en progression $\sqrt{2}$:

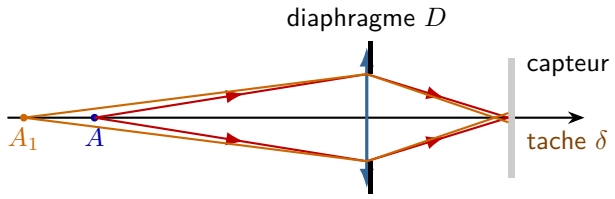
chaque cran divise la lumière reçue par 2) ; $\mathcal{E}$: énergie reçue par unité de surface du capteur ; τ : durée d'exposition.

Profondeur de champ R D

Mise au point sur A ; un point A_1 hors du plan de mise au point a son image à $\Delta p'$ du capteur et y forme une **tache** de diamètre

$$\delta \simeq D\,\frac{|\Delta p'|}{p'} \simeq \frac{|\Delta p'|}{N}.$$

A_1 paraît net si $\delta < \varepsilon$ (taille d'un pixel). La **profondeur de champ** (zone vue nette) **augmente** quand on ferme le diaphragme ($N \nearrow$), quand f' diminue et quand le sujet s'éloigne.



- **Focale** : image d'un objet lointain de taille $f'\alpha$; grande focale (téléobjectif) : image grande, champ étroit ; courte focale (grand-angle) : champ large.
- **Durée d'exposition** : trop longue, elle donne un **flou de bougé** ; on compense un diaphragme fermé ($N \nearrow$) par une pose plus longue, ou une sensibilité (ISO) plus élevée, au prix du bruit.
- **Capteur** : nombre et taille des pixels fixent la résolution ; pour N très grand, la diffraction (tache $\sim \lambda N$) limite la netteté.

IV La loupe et la lunette astronomique

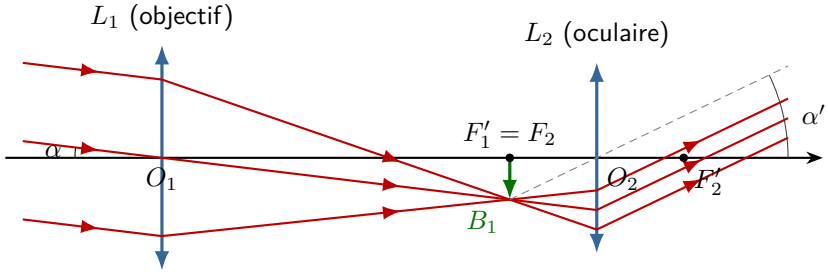
Loupe R D

Lentille convergente de courte focale ; objet entre F et O : image virtuelle, droite, agrandie. Sans fatigue : objet dans le **plan focal objet**, image à l'infini vue sous $\alpha' = AB/f'$. À l'œil nu, l'objet est vu au mieux au PP sous $\alpha_m = AB/d_m$:

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha_m} = \frac{d_m}{f'} = \frac{V}{4} \qquad (d_m = 25\,\text{cm},\ V \text{ en dioptries})$$

Définition — Lunette astronomique R

Objectif L_1 : convergent, grande focale f'_1 (de l'ordre du mètre), grand diamètre D_1 ; **oculaire** L_2 : convergent, courte focale f'_2 (quelques cm), joue le rôle de loupe. Pour un œil emmétrope au repos, l'image d'un astre doit être à l'infini : système **afocal**, $F'_1 = F_2$, soit $\overline{O_1O_2} = f'_1 + f'_2$.



Lunette afocale ($f'_1 = 4f'_2$) : un faisceau parallèle incliné de α ressort parallèle, incliné de α' en sens inverse.

Grossissement, cercle oculaire R D

Angles orientés (sens trigonométrique, depuis l'axe). L'objectif donne de l'astre l'image intermédiaire A_1B_1 dans son plan focal image : $\overline{A_1B_1} \simeq f_1'\alpha$ (rayon non dévié par O_1). Les rayons émergents sont parallèles au rayon B_1O_2 non dévié : $\alpha' \simeq -\overline{A_1B_1}/f_2'$. D'où

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f_1'}{f_2'}$$

$G < 0$: image **renversée**. Le **cercle oculaire**, image de la monture de l'objectif par l'oculaire (juste après F_2'), de diamètre $D_1/|G|$, est l'endroit où placer l'œil. L'objectif collecte $(D_1/D_{\text{pupille}})^2$ fois plus de lumière que l'œil.

Remarque

Lunette de Galilée : oculaire divergent, afocale si $F_1' = F_2$, plus courte ($f_1' + f_2' < f_1'$) et $G = -f_1'/f_2' > 0$: image droite (jumelles de théâtre). **En TP** : on règle une lunette sur l'infini par **autocollimation** (réticule dans le plan focal de l'objectif, miroir plan : le réticule et son image sont nets simultanément), puis on règle un **collimateur** (fente éclairée dans le plan focal d'une lentille), qui fournit un objet à l'infini.

★ À retenir

Instrument	Modèle	Relations clés
Œil	lentille de vergence variable + rétine fixe à $d \simeq 17\,\text{mm}$	$V_{\text{min}} = \frac{1}{d}$, $V_{\text{max}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_m}$, $\varepsilon \simeq 1'$
Appareil photo	objectif + diaphragme + capteur mobile	$N = f'/D$, $\mathcal{E} \propto \tau/N^2$, $\delta \simeq \lvert\Delta p'\rvert/N$
Loupe	convergente, objet en F	$G_c = d_m/f' = V/4$
Lunette	objectif + oculaire, afocale ($F_1' = F_2$)	$G = -f_1'/f_2'$, cercle oculaire $D_1/\lvert G\rvert$

Ordres de grandeur

Œil : $d \simeq 17\,\text{mm}$, $V \simeq 59$ à $63\,\delta$, $\varepsilon \simeq 3 \times 10^{-4}\,\text{rad}$: à $25\,\text{cm}$ on distingue $75\,\mu\text{m}$. Soleil et Lune : $\alpha \simeq 0{,}5° \simeq 9 \times 10^{-3}\,\text{rad}$. Pixel : quelques µm ($6\,\mu\text{m}$ pour 24 Mpx plein format $24 \times 36\,\text{mm}$). Loupe de $20\,\delta$: $G_c = 5$. Lunette $f_1' = 900\,\text{mm}$, $f_2' = 10\,\text{mm}$: $|G| = 90$.

V Méthodes et pièges

☞ Méthode — Étudier un instrument M

1. Schématiser l'instrument par ses lentilles (focales, distances) et chercher les **images intermédiaires** : $A \xrightarrow{L_1} A_1 \xrightarrow{L_2} A'$.
2. Instrument visuel réglé pour un œil au repos : l'image finale est à l'infini, donc l'image intermédiaire est dans le **plan focal objet** de l'oculaire.
3. Grossissement : exprimer α et α' avec les **rayons non déviés** passant par les centres optiques, dans les conditions de Gauss ($\tan\alpha \simeq \alpha$).

4. Œil et appareil photo : écrire la conjugaison entre l'objet et la rétine (ou le capteur), l'inconnue étant la vergence (œil) ou la distance p' (appareil).

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Dans l'œil, c'est la **vergence** qui varie, pas la distance lentille-rétine ; dans l'appareil photo, c'est l'inverse.
- Le PR d'un hypermétrope est **virtuel**, derrière l'œil : $\overline{O\,\mathrm{PR}} > 0$.
- Grossissement (rapport d'**angles**) et grandissement (rapport de **longueurs**) sont deux notions différentes.
- Fermer le diaphragme augmente la profondeur de champ mais diminue la lumière reçue ($\propto 1/N^2$) : il faut allonger la pose.
- Lunette afocale : $\overline{O_1O_2} = f_1' + f_2'$ et non $f_1' - f_2'$ (sauf Galilée, où $f_2' < 0$).

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je modélise l'œil et je définis PR, PP, accommodation et limite de résolution.
- ☐ Je calcule les vergences extrêmes d'un œil et je choisis une lentille correctrice.
- ☐ Je modélise l'appareil photographique et je relie N, τ et l'énergie reçue.
- ☐ J'explique qualitativement l'influence du diaphragme, de la focale et du capteur sur la profondeur de champ.
- ☐ Je calcule le grossissement commercial d'une loupe.
- ☐ Je construis la marche d'un faisceau dans une lunette afocale et j'établis $G = -f_1'/f_2'$.