

PHYSIQUE : FICHE OPTIQUE

Lumière : vibration des champs électrique et magnétique qui se propage sous forme d'onde à la vitesse de la lumière $= 3.10^8 \text{ m/s}$

Vitesse d'une onde : $c = \lambda \nu$ Energie d'une onde : $E = hc/\lambda$

Ondes du visible : 400 nm (violet) ($\rightarrow$ bleu $\rightarrow$ vert $\rightarrow$ jaune) à 700 nm (rouge)

Dans un milieu diélectrique NON magnétique : $V = c/n$ (avec $n = \sqrt{\epsilon_r}$)

$\rightarrow n_{\text{air}} = 1$; $n_{\text{eau}} = 1,33$; $n_{\text{verre}} = 1,5 \text{ à } 1,8$; $n_{\text{diamant}} = 2,4$

Loi de Cauchy : $n(\lambda) = a + b/\lambda^2 \leftrightarrow$ indice de dispersion du milieu : l'angle de déviation varie avec la longueur d'onde , ce qui va donner le prisme (spectroscope)

$\rightarrow n(\text{bleu}) > n(\text{rouge})$

Optique géométrique : $\rightarrow$ rayons lumineux dans milieux transparents

$\rightarrow$ indépendance des rayons lumineux

$\rightarrow$ longueurs des systèmes optiques $\gg \lambda$ lumière

Optique ondulatoire : $\rightarrow$ interférence et diffraction

□ Optique géométrique

Dans un milieu **transparent et homogène** , la lumière se propage en ligne droite

$\rightarrow$ minimisation du temps de propagation entre 2 points

$\leftrightarrow$ Principe de Fermat : la lumière se propage d'un point à l'autre telles que le chemin optique soit extrémal (par rapport aux autres chemins) : $dL_{AB}(dM) = 0$

$T_{AB} = L_{AB}/c$ (avec L_{AB} : chemin optique)

$\rightarrow$ Lois de la réfraction : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ (loi de Snell Descartes)

$\rightarrow$ propagation rectiligne : $\theta_1 = \theta_2$

$\rightarrow$ lois de la réflexion : $\theta_2 = 180^\circ - \theta_1$

$\rightarrow$ principe du retour inverse : $dL_{AB} = 0 \text{ ssi } dL_{BA} = 0$

Angle limite de réfraction : $\theta = \arcsin (n_1/n_2)$ (avec $n_2 > n_1$)

Réflexion totale si $\theta_2 > \theta \rightarrow$ pas de rayon transmis

Ex : air $\rightarrow$ eau : $\theta = 49^\circ$; air $\rightarrow$ verre : $\theta = 42^\circ$ (miroir : $\theta_2 = 45^\circ > 42^\circ$)

Dioptre : interface entre 2 milieux transparents d'indices différents

Lentille : association de 2 dioptries. Convergente(convexe) / Divergente (concave)

Système optique centré : possède un axe de symétrie de révolution

Objet : rayons entrant . Réel = devant la face d'entrée ($p < 0$) $\neq$ virtuel ($p > 0$)

Image : rayons sortant . Réelle = derrière face de sortie ($p' > 0$) $\neq$ virtuelle ($p' < 0$)

(p est la distance objet-lentille et p' la distance image-lentille)

Condition de Gauss :

- Stigmatisme : A' image de A par le système optique $\rightarrow$ A et A' conjugués (miroir : stigmatisme rigoureux)

- Aplanétisme : AB et A'B' plans et perpendiculaire au même axe optique (syst optique centré)

- Rayons paraxiaux : rayons ne formant que des petits angles par rapport à l'axe optique dans un syst optique centré

Loi du dioptre sphérique :

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} - \frac{n}{f} = D$$

$\rightarrow$ distance f' : distance focale image allant jusqu'à F' foyer image .

Le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F' = plan focal image

$\rightarrow$ distance f : distance focale objet allant jusqu'à F foyer objet (on aura un plan focal objet)

Vergence d'un dioptre :

$$D = (n' - n)/SC$$

Lentilles à bords minces :

$\rightarrow$ 2 dioptries dont les sommets sont confondus $\Rightarrow$ centre optique O (une lentille à bords minces est caractérisée par O , F et F')

$\rightarrow$ vergences de 2 lentilles minces s'additionnent

$\rightarrow$ grandissement : $\gamma < 0$ = image renversée / $\gamma > 0$ = image droite

	Lentille convergente	Lentille divergente
Vergence	> 0	< 0
Distance focale objet f	< 0	> 0
	Obj réel/ Image réelle $\rightarrow$ renversée Obj virtuel/ Image réelle $\rightarrow$ droite	Obj virt / image virt $\rightarrow$ renversée Obj réel / image virt $\rightarrow$ droite

Le tutorat est gratuit . Toute reproduction ou vente est interdite

La loupe : augmente le pv séparateur de l'œil / 1 lentille convergente → obtention d'une image virtuelle, agrandie, droite

→ vision sous l'angle θ' tel que $\tan\theta' = AB/f'$

→ $G = |Pp|/f'$ (avec $|Pp| = 0,25 \text{ m}$) = $|Pp| * P$

→ $P = 1/f'$

(si AB dans le plan focal → image renvoyée à l'infini → pas d'accommodation)

Le microscope : pv séparateur > loupe, doublet de lentilles convergentes

→ 1 objectif : grossir la taille → formation d'une image intermédiaire agrandie et inversée

→ 1 oculaire : loupe pour regarder l'image intermédiaire agrandie en déterminant l'angle θ' sous lequel l'image est vue

→ distance focales : f_1' (distance entre le centre optique de la 1^{er} lentille et le foyer image de cette lentille) et f_2' (distance entre le foyer de formation de l'image intermédiaire et le centre optique de la 2^e lentille)

→ intervalle optique $\Delta = F_1'F_2' \gg f_1'$

→ $G = |Pp| \Delta / (f_1'f_2')$

L'œil et la vision :

Œil : succession de dioptre centrés ($n_{\text{air}}=1$; moy d'indice de l'œil = 1,35)

Longueur de l'œil : $p' 23 \text{ mm}$ (distance de la lentille à la rétine)

→ essentiel de la **réfraction** sur l'interface **Air – Cornée**

→ **cristallin** : lentille convergente, responsable de l'**accommodation** (≠ iris et pupille pour le contrôle de la lumière entrant dans l'œil)

→ $|Pp| = 25 \text{ cm}$ ($Pp = -0,25$) ↔ **accomd° max** : $D = n'/p' - 1/Pp$

→ $|Pr| = \text{infini}$ ($Pr = -\text{infini}$) ↔ **Ø accomd° (œil au repos)** : $D = n'/p' - 1/Pr$

→ accommodation maximale $\Delta D = 1/Pr - 1/Pp$ = potentiel d'accommodation
(= 4 δ chez l'adulte et 10 δ chez l'enfant car $Pp = -10 \text{ cm}$)

Défauts visuels : amétropie (pas de formation sur la rétine → anomalie de réfraction)

- **myopie** : œil trop convergent (trop long), foyer image dvt la rétine .

→ **Défaut de vergence** >0 $\boxed{D = -1/Pr = n'/f' - n'/p'}$ (→ $Pr = -1/D$ et $Pp = 1/(\Delta D - D)$)

(le Pr est à une distance finie) . → Correction avec lentilles minces divergentes de vergence $-\delta v$

$n'/f' \text{ corrigé} = -\delta v + n'/f' = n'/p'$

- **hypermétropie** : (œil trop court)

→ **défaut de vergence** <0 , correction avec verres convergents

(l'œil doit accommoder pour voir une image située à l'infini, soit Pr à l'infini)

- **presbytie** : fatigue muscles ciliaires / manque de souplesse du cristallin . Pp s'éloigne de l'œil . ΔD diminue avec l'âge → lunettes pour $\Delta D < 3\delta$

$\Delta D + \delta v = -1/Pp$

- **astigmatisme** : défaut de sphéricité de l'oeil → lentilles sphéro cylindriques

▫ **Optique ondulatoire** (Objet $< 1\mu\text{m}$)

Interférences : (pour des sources en phase et synchrones) on mesure l'intensité lumineuse $I = 4I_0 \cos^2(\pi\delta/\lambda)$ (Si opposition de phase, on remplace cos par sin, les franges claires deviennent sombres et inversement. Non synchrones généralement sauf pour le laser et avec dédoublement des sources par les fentes d'Young)

Si le point est très éloigné $\delta = a \sin\theta$

→ variation périodique entre 0 et I_0 : - **franges claires** = maxima d'intensité :

$\sin\theta = k \lambda/a$ (= directions des maxima d'intensité)

- **franges sombres** = minima d'intensité

$\sin\theta = (k + 1/2) \lambda/a$

Intervalle angulaire entre 2 franges claires (ou 2 franges sombres) : $\Delta\theta = \lambda/a$

(pour λ/a petit → $\sin\theta \approx \theta$)

Interférence dans les lames minces : les rayons entrent en phase et subissent une interférence à cause de la différence de phase créée par la **différence de chemin optique** dans l'épaisseur de la lentille → δ (**diff de chemin optique**) = $2e n \cos r$; interférence dans un **milieu plus réfringent** → déphasage $\pi \leftrightarrow$ accroissement de $\lambda/2$ dans le chemin optique des ondes réfléchies

→ $\delta = 2 e n \cos r + \lambda/2$

Ecart angulaire des franges λ/δ augmente quand e (épaisseur) diminue

Couche anti reflet :

Pourcentage d'intensité réfléchi $I_r/I_i = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$ est de 8% pour une lentille et 44% pour un instrument optique → réduction en intercalant une **couche**

d'un matériau moins réfringent que le verre (n plus petit) → $\delta = 2en$

(si $e n = \lambda/4$ → $\delta = \lambda/2$) (épitaxie : croissance de couche mince sous ultra vide)

→ annihilation des ondes (interférences destructives) valable pour une seule valeur de λ

Le tutorat est gratuit . Toute reproduction ou vente est interdite

Réseau optique : plaque percée de **N fentes** espacées d'une **distance a** (= pas du **réseau**). La hauteur des maxima d'intensité $\propto$ comme N^2 ; Leur largeur $\propto$ comme $\Delta\theta = \lambda/Na$ ($\rightarrow$ **N $\nearrow$ $\rightarrow$ hauteur $\nearrow$ et largeur $\searrow$**)
 Les $\sin\theta$ dépendent de $\lambda \rightarrow$ utilisation comme spectroscope
 Dans l'ordre k, le **pouvoir de résolution du réseau** est : $(\Delta\lambda/\lambda)_{\min} = 1/kN$
 (le réseau permet de faire la différence entre 2 pics)

Diffraction (lorsque un obstacle a des dimensions comparables à λ)
 Principe de H-F $\rightarrow$ les ondes lumineuses détectées au-delà de la paroi se comportent comme si elles étaient émises par un ensemble continu de sources
 Diffraction par une seule fente (on suppose que les rayons lumineux sont parallèles) :
 - $I = I_0 \text{sinc}^2(\pi b \sin\theta/\lambda)$ (**f° sinus cardinal**) (b = largeur de l'ouverture)
 - 1 tâche centrale (et tâches satellites) $\rightarrow$ **minima** : $\sin\theta = k\lambda/b$
 - + fente étroite (largeur b), + tâche étalée $\rightarrow$ **largeur angulaire** : $\Delta\theta = 2\lambda/b$
 Ex d'un cheveu : $L/D = 2\lambda/b$
 Ex de diffraction par 2 fentes : $I_{\text{young}} = I$ d'une ouverture * modul° caractéristique

Ex de diffraction par une ouverture circulaire :

$\frac{1}{2}$ **largeur angulaire** : $\sin\theta = 0,61\lambda/r$
 ($\leftrightarrow$ tâche d'Airy)
 pour un instrument optique d'indice de réfraction n' $\sin\theta = 0,61\lambda/n'r$

Critère de Rayleigh (pouvoir de résolution) : **la distance angulaire entre les centres des images doit valoir au moins θ pour avoir des objets résolus**
 $\rightarrow$ **pouvoir séparateur** $d_{\min} = 0,61\lambda/D/n'r$ (= distance min entre 2 objets pour pouvoir les distinguer)
 $\rightarrow$ pour réduire le **pouvoir de résolution (limité par la diffraction)**, il faudrait **réduire λ (h/p)** (on peut atteindre un pv séparateur < 1 Angstrom)
Résolution angulaire minimale de l'œil = 0,15 mr (avec $r = 1,5$ mm et $\lambda = 0,5\mu$)
 - en moyenne, elle est comprise entre **0,3** (acuité visuelle de 10/10) et **0,5mr**
 - 2 rayons doivent toucher 2 cônes distincts : **$\Delta\theta = 0,2$ mr** (détail dans le cours)