

PHYSIQUE : FICHE OPTIQUE

Lumière : vibration des champs électrique et magnétique qui se propage sous forme d'onde à la vitesse de la lumière = $3 \cdot 10^8$ m/s

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

Ondes du visible : 400 nm (violet) (→ bleu → vert → jaune) à 700 nm (rouge)

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

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

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

→ $n(\text{bleu}) > n(\text{rouge})$

Optique géométrique : → rayons lumineux dans milieux transparents
 → indépendance des rayons lumineux
 → longueurs des systèmes optiques $\gg \lambda$ lumière

Optique ondulatoire : → interférence et diffraction

⌘ **Optique géométrique**

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

→ minimisation du temps de propagation entre 2 points

↔ **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)

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

→ **propagation rectiligne** : $\theta_1 = \theta_2$

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

→ **principe du retour inverse** : $dL_{AB} = 0$ ssi $dL_{BA} = 0$

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

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

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

Dioptre : interface entre 2 milieux transparents d'indices différents

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

Système optique centré : possède un axe de symétrie de révolution

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

Image : rayons sortant. Réelle = derrière face de sortie ($p' > 0$) ≠ 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 → 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 : $\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} - \frac{n}{f} = D$

→ distance f' : distance focale image allant jusqu'à F' foyer image .

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

→ 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 :

→ 2 dioptres dont les sommets sont confondus => centre optique O (une lentille à bords minces est caractérisée par O , F et F')

→ vergences de 2 lentilles minces s'additionnent

→ 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 → renversée	Obj virt / image virt → renversée
	Obj virtuel/ Image réelle → droite	Obj réel / image virt → droite

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 dioptrés 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)

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

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

→ accommodation maximale $\Delta D = 1/Pr - 1/Pp$ = potentiel d'accommodation
(= 4δ chez l'adulte et 10δ 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 $E = -1/Pr = n'/fr' - n'/p'$ (→ $Pr = -1/D$ et $Pp = 1/\Delta D - D$)

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

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

- **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 → $\sin\theta = \theta$)

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 π ↔ 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 spectroscopie

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 : $\sin\theta = 0,61\lambda/n \cdot r$

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** $d_{\min} = 0,61\lambda.D/n \cdot r$ (= 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)