

Fiche n°2 (ronéos 5+6+9) : optique

I. Introduction à l'optique

‘L'électromagnétisme a déterminé la **nature de la lumière**, la **relativité** lui a chiffré sa **vitesse** et la **quantique** lui a donné **ses composantes**’

Selon Maxwell, l'**onde lumineuse** est l'association de deux champs : **électrique** et **magnétique**, **perpendiculaires** entre eux

/! Toute onde EM n'est pas lumineuse !

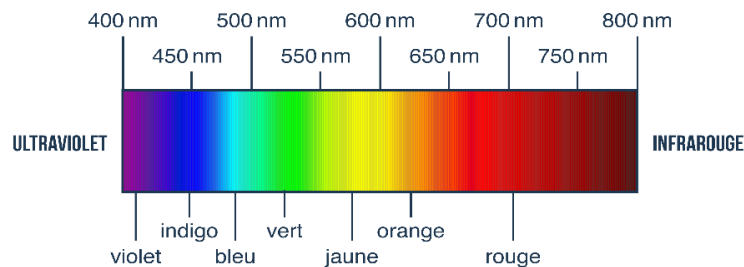
Toute onde a une **longueur** (d'onde) et une **fréquence**, pour la lumière on a : $c = \lambda \nu$

Tout REM avec une $\lambda > \lambda_{visible}$ n'est **pas nocif** pour le corps.

La lumière **n'a pas besoin de support matériel** pour se déplacer.

/! Une onde est un **déplacement d'énergie SANS déplacement de matière**.

/! Ce n'est pas parce que la lumière peut se propager dans le vide qu'elle ne peut pas se propager dans un matériau.



II. Propagation de la lumière au sein d'un matériau

Dans un matériau, la vitesse de la lumière **diminue** :

$$v = \frac{c}{n} < 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

Point unités

- n = indice de réfraction
- ϵ_r = constante diélectrique du milieu

NB1 : pour qu'un matériau soit **transparent** il doit être **diélectrique**, s'il était **conducteur**, il serait **réfléchissant**

Non dit 2019-2020

NB 2 : n dépend de la **longueur d'onde**, la vitesse est **variable** selon les **couleurs**, cet effet est négligeable sauf pour la **dispersion**

→ c'est donc λ qui est divisé par n (car **fréquence = constante**) :

$$v = \frac{c}{n} = \frac{\lambda \nu}{n} = \frac{\lambda}{n} \nu$$

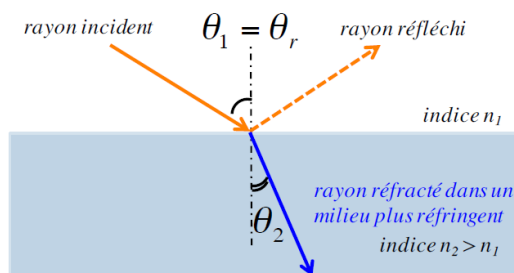
III. Optique géométrique

	Optique géométrique	Optique ondulatoire
Définition	Étude des rayons , sur des systèmes simples Basée sur l'existence et l'indépendance des rayons lumineux	Étude de la lumière lorsqu'elle passe dans une fente / un obstacle d'une largeur proche de la longueur d'onde
Ordre de grandeur	$> 1\mu\text{m}$	$\cong 1\mu\text{m}$
Applications directes	Lentilles minces + dioptries sphériques	Interférences + diffraction

IV. Réfraction et réflexion

Lorsque 2 milieux sont séparés par un **dioptre**, le rayon incident se dédouble en **2 rayons** :

	Rayon	Angle
Incident	-	Entre la normale et le rayon incident
De réflexion	Symétrique par rapport à l'incident	Égal à l' angle incident (→ loi de réflexion spéculaire)
Réfracté	Direction différente de l'incident	Entre la normale et rayon réfracté (→ loi de Snell-Descartes)



Définition :

Dioptre : interface **lisse** entre 2 milieux optiques caractérisés par des **indices optiques différents** n_1 et n_2 . Il peut être **plan** ou **sphérique**.

On peut calculer l'angle réfracté avec la

loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

Quelques cas particuliers :

- si l'angle incident = 0 → **pas de déviation**
- si $n_1 = n_2$ → **pas de déviation**
- si le rayon incident vient depuis le milieu **le plus réfringent** (i.e. $n_1 > n_2$) : possibilité de **réflexion totale**

Réflexion totale lorsque : (*)

$$\theta_L < \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \theta_1$$

car

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$$

$$\frac{n_1}{n_2} > 1$$

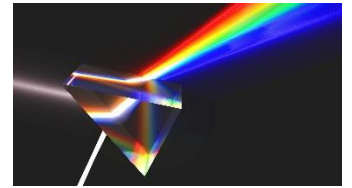
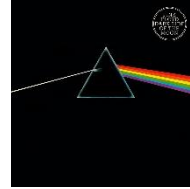
NB : cette équation (*) admet **toujours** une solution car $n_1 > n_2$

L'**énergie** transportée par le **rayon transmis** est **plus importante** que celle transportée par le **rayon réfléchi**. Dans le cas de la **réflexion totale**, l'**onde transmise** aura une **énergie de + en + faible** et l'**onde réfléchie** va avoir un **maximum d'énergie**.

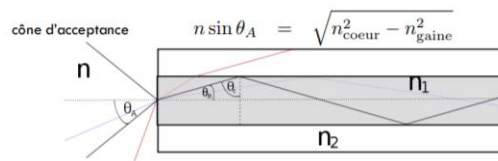
Applications de la réflexion totale :

1. Numérique : calcul de l'**angle limite** pour lequel le rayon **incident** subit une **réflexion totale**.

2. Cas du prisme de verre droit : l'angle limite vaut environ 42° , donc pour un **angle incident de 45°** → **effet miroir**.



3. Fibre optique : 2 couches avec des indices optiques différents ($n_{\text{coeur}} > n_{\text{gaine}}$)
→ si on envoie un rayon avec angle suffisamment « plat », on a réflexion totale et le rayon peut se déplacer sur de **longues distances**.



4. Angle d'acceptance (+++) : (demi)angle pouvant permettre une **réflexion totale** → est à la base du **cône d'acceptance** (composé de « 2 » angles d'acceptance) :

Non dit 2019-2020

$$n * \sin \theta_A = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

→ on a alors un système optique **d'ouverture finie circulaire**

On peut alors définir la notion d'**ouverture numérique NA** :

$$NA = n * \sin \theta_m$$

ou

$$NA \cong \frac{n \cdot r}{D} \text{ si } \theta_m \ll 1$$

ou

$$NA = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

dans le cas de la fibre optique

θ_m : **plus grand demi-angle** sous lequel l'objet voit l'**ouverture de l'axe optique**

NB : Le **pouvoir séparateur** d'un instrument s'exprime souvent en fonction de l'ouverture numérique !

Autre cas particulier :

La dispersion : réfraction **dépendante** de la **longueur d'onde**

Sur un **prisme non droit** (i.e. angle au sommet $\neq 0$) → le rayon incident subit **2 déviations** (→ entrée + sortie). Cet ensemble de réfractions forme l'**angle D** = angle de **déviation**

NB : si l'angle incident est **assez petit**, on peut utiliser l'approximation

$$D \cong A \cdot (n - 1)$$

Loi de Cauchy :

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

Ainsi lorsque $\lambda \nearrow$, $D \searrow$, le bleu est donc plus dévié que le rouge

Application : la spectroscopie, qui sépare les rayonnements.
Le prisme est en fait un spectroscopie !

Point unités

- a , coeff positif, sans dimension, caractéristique du milieu
- b , coeff positif, en m^2 , carac. du milieu

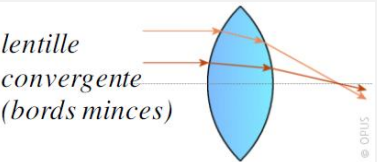
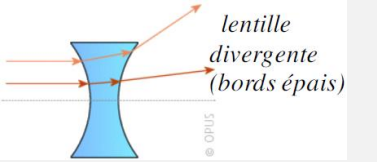
V. Lentilles/dioptres sphériques

Le but de l'optique géométrique est d'**agrandir** les images !

Les rayons sont cependant constamment soumis au phénomène de **divergence**, on utilise alors des **lentilles** composées de **dioptries sphériques**

A. Définitions

Lentille : association de **deux dioptries** souvent sphériques.

Lentille à bords minces	Lentille à bords épais
	
Convergentes	Divergentes
Fait converger les rayons lumineux // venant de l'infini vers le foyer image F_i	Fait diverger les rayons lumineux // venant de l'infini en avant du dioptré -> foyer image virtuel
Correction hypermétropie	Correction myopie

Système optique : assemblage de **miroirs** et de **lentilles** reliant objets et images.

Par convention, l'entrée du système est à gauche, la sortie à droite.

Le système est **centré** s'il possède un **axe de symétrie de révolution** (= **centre optique**).

Objet : source de rayons **entrant** dans le système optique

→ **réel** si **avant** la face d'entrée / → **virtuel** si **après**

Image : source de rayons **sortant** du système optique

→ **réelle** si **derrière** la face de sortie (→ *projetable sur un écran*)

→ **virtuelle** si **avant** face d'entrée

Stigmatisme : l'image d'un point est un point → ces 2 points sont dits **conjugués**

→ approché sauf dans le cas des **miroirs plans, où il est rigoureux**

→ dû à la symétrie de révolution des dioptries oculaires

Aplanétisme : dans un **système centré**, tout petit objet AB et \perp à l'axe optique a une image A'B' **plane** et \perp au même axe.

Rayons paraxiaux : dans un **système centré**, ce sont des rayons ne formant que de **petits angles** par rapport à l'axe optique.

Emmétropie : toute image d'un objet situé à l'infini vient se positionner sur la rétine
Les valeurs harmonieuses sont : pour la puissance basale → 60D et pour les dimensions antéro-postérieures → ~24mm.

Condition de Gauß (Gauss) : on suppose un SO n'ayant que des rayons paraxiaux, on a alors une bonne approximation du **stigmatisme** et de l'**aplanétisme**.

NB : les rayons **divergent** à partir d'un objet **réel** mais semblent **converger** vers un objet **virtuel**.

B. Dioptries sphériques

Dioptre convexe	Dioptre concave
<p>$\overline{SC} > 0$</p>	<p>$\overline{SC} < 0$</p>
S se trouve avant C $\overline{SC} > 0$	S se trouve après C $\overline{SC} < 0$

Topo notations :

	Correspond à	<0 quand	>0 quand
$\overline{SA} = p$	Distance objet	Objet réel	Objet virtuel
$\overline{SA'} = p'$	Distance image	Image virtuelle	Image réelle

Loi du dioptre sphérique :

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = D$$

D = **vergence** du dioptre (en dioptries, m^{-1})

Si $D > 0 \rightarrow$ dioptre **convergent**

Si $D < 0 \rightarrow$ dioptre **divergent**

Point unités

- n , indice optique du milieu, sans unité
- p , distance objet (p' pour la distance image), en m
- D , vergence, en dioptries δ (m^{-1})

C. Foyers et distances focales

Foyer objet F : point à partir duquel des rayons lumineux sont transmis **parallèlement** à l'AO.

L'image de F correspond à un point A' **situé à l'infini** (comme si $\overline{SA'} = +\infty$).

Distance focale objet : $-SF = -f$

Le plan \perp à l'AO et passant par le foyer objet = « **plan focal objet** ».

Foyer image F' : point vers lequel converge un faisceau de rayons incidents **parallèles** à l'AO.

Le foyer image F' correspond à l'image d'un objet A **situé à l'infini** ($\overline{SA} = -\infty$).

Distance focale image : $\overline{SF'} = f'$

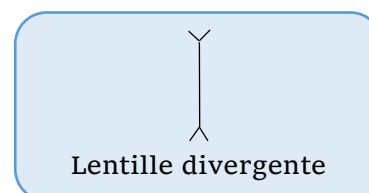
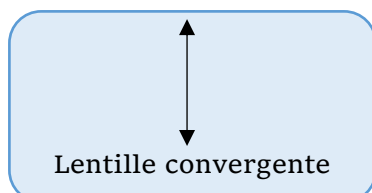
Le plan \perp à l'AO et passant par le foyer image = « **plan focal image** ».

Ainsi, on a (+++) : $\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} = D$

D. Lentilles minces

dioptre sphérique de courbure fine $\times 2 =$ lentille mince

NB : Les vergences de deux lentilles minces accolées **s'additionnent**



3 règles à respecter pour les constructions géométriques :

1. Un rayon **incident parallèle** à l'AO est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant passe par le **foyer image F'**.
2. Un rayon **incident** passant par le **foyer objet F** est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant est **parallèle** à l'AO.
3. Les rayons qui passent par le CO **ne sont pas déviés**.

/! Pour une **lentille divergente** les foyers image et objet sont **inversés**, mais les rayons venant toujours (+++) de la gauche, il faut tracer les prolongements

Grandissement transverse :

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

NB1 : pour un objet à distance **2F** → $\gamma = -1$

NB2 : pour un objet placé **sur le plan focal** → grandissement **infini**

Topo grandissement :

- Si $\gamma > 1$, l'image est **droite** et **agrandie**
- Si $\gamma = 1$, l'image est **droite** et **de même dimension**
- Si $0 < \gamma < 1$, l'image est **droite** et **rétrécie**
- Si $-1 < \gamma < 0$, l'image est **inversée** et **rétrécie**
- Si $\gamma = -1$, l'image est **inversée** et **de même dimension**
- Si $\gamma < -1$, l'image est **inversée** et **agrandie**

☼ Point mnémo :

Lentille convergente	Lentille divergente

Légende :

- Majuscule quand l'image est agrandie (R/V)
- Minuscule quand l'image est rétrécie (r/v)
- Lettre au-dessus de l'axe optique quand image droite
- Lettre en dessous de l'axe optique quand image inversée

Ce mnémo a été imaginé par le tuteur de physique d'il y a deux ans ! (rendons à César (enfin à Ecubas du coup) ce qui est à César). Si vous arrivez à le retenir par cœur, ça vous permettra de déterminer plus rapidement si une image est agrandie, inversée, réelle, etc !

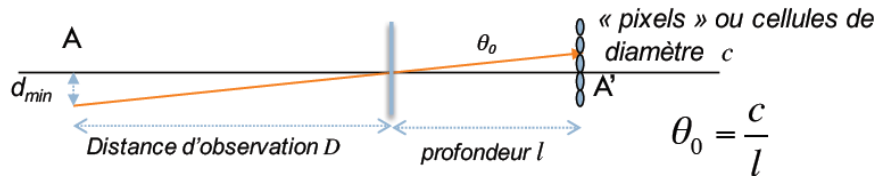
VI. Systèmes optiques simples

Hypothèse initiale : on suppose être dans une situation de **stigmatisme** i.e. un point est associé à un point.

/! Son **respect** implique une **image nette** mais son **non-respect n'implique pas une image floue**

A. Limite de résolution d'un système optique

Les systèmes optiques sont constitués de **cellules/capteurs discrétisés** → une image dépend **des rayons** qui arrivent sur une **cellule donnée**.



Le diamètre c du capteur décrit un angle θ_0 → dedans → tous les points émettant de la lumière **entre A et un autre point** limitant θ_0 , vont voir leurs rayons **converger vers ce même capteur**

→ on ne distingue pas des points mais **des éléments** avec une **taille limitée par θ_0** (**limite de résolution angulaire**). On a :

$$\theta_0 = \frac{c}{l}$$

⇒ On peut définir le **pouvoir de résolution angulaire P_R** :

$$P_R = \frac{1}{\theta_0} = \frac{l}{c} \quad +++$$

Limite de résolution spatiale d_{min} : plus petite distance entre 2 objets permettant encore de les distinguer

$$d_{min} = D \cdot \theta_0$$

Le prof a rajouté cette petite partie l'année dernière, donc c'est ++++

⇒ On peut définir le **pouvoir séparateur** (ou pouvoir de résolution spatiale) :

$$P_s = \frac{1}{d_{min}} = \frac{1}{D \cdot \theta_0} = \frac{l}{D \cdot c} \quad +++$$

B. Profondeur de champ

Distance entre le 1^{er} et le dernier plan de l'espace des objets apparaissant nets sur le capteur.

Elle s'exprime en fonction de la **Distance Hyperfocale** : distance du 1^{er} plan net avec **MaP à l'infini** (i.e. image assez éloignée pour que **plan image = plan focal image**, les rayons sont alors **parallèles entre eux**).

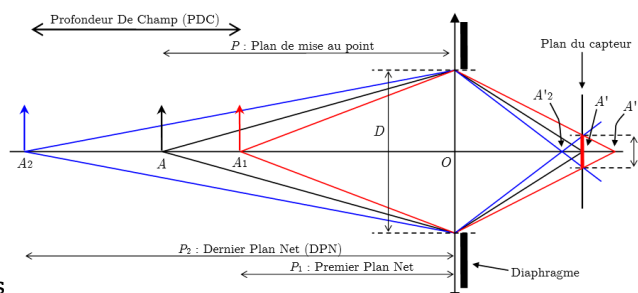
Non dit 2019-2020

On en déduit que

$$PdC = 2 \times \frac{HP^2}{H^2 - P^2}$$

$$H = \frac{fd}{c_c}$$

Donc si $D \geq H \rightarrow$ **PdC infinie (+++)**



Point unités

- c = diamètre du capteur, en m
- l = profondeur, en m
- D = distance d'observation, en m
- H = distance hyperfocale, en m
- c_c = diamètre du cercle de confusion, en m
- d = ouverture, en m

C. Vision à l'œil nu

On définit l'intervalle de vision nette de l'œil entre :

Punctum remotum : point le **plus éloigné** de l'AO, donnant une **image nette** sur la rétine, **sans accommodation**.

Pour un œil normal **$P_R = \text{infini}$**

Punctum proximum : point de l'AO donnant une **image nette** avec **accommodation max**

Pour œil adulte normal : **$P_P = 25\text{cm}$** (entre 7 et 33 cm selon Baillif) (↘ chez l'enfant ↗ chez les PA)

Parcours d'accommodation : parcours entre le PP et le PR → infini pour l'œil emmétrope

D. La loupe

Soit un objet à une certaine distance d'une lentille convergente, on obtient une image **virtuelle**, matérialisable sur un écran qu'après **REfocalisation** par une autre lentille, qui n'est autre que l'œil.

Elle permet d'**augmenter** le **pouvoir séparateur** de l'œil car la **limite de résolution spatiale** est **plus petite**.

On voit l'objet sous un nouvel angle θ' , caractérisé par OC et f' :

$$\tan\theta' = \theta' = \frac{OC}{f'} = \frac{AB}{f'}$$

On peut ainsi définir deux autres variables :

Grossissement :

$$G = \frac{P_p}{f'}$$

Puissance :

$$P = \frac{1}{f'}$$

NB : On peut donc exprimer le grossissement en fonction de la puissance :

$$G = |P_p| \cdot P$$

E. Le microscope

Diminue davantage la **limite de résolution** car il possède un système doublet de **lentilles convergentes** comportant un **objectif** et un **oculaire**.

1^{ère} lentille : **objectif**, lentille principale, la + grossissante

→ donne **sa qualité** à l'image

→ donne une image intermédiaire **agrandie** et **renversée**

→ l'objet AB doit être **au plus proche du foyer objet F_1**

2^{ème} lentille : **oculaire**, permet des **précisions différentes**

→ l'image intermédiaire A_1B_1 doit se trouver **dans le plan focal objet de l'oculaire**

→ agit comme une loupe → **image + grande se projetant à l'infini**

On définit **l'intervalle optique Δ** : distance entre le **foyer image F_1'** et le **foyer objet F_2** de l'**oculaire**

On a

$$\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$$

et

$$\tan\theta = \frac{AB}{|P_p|}$$

le **grossissement** vaut donc :

$$G = \frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{|P_p| \cdot \Delta}{f_1' \cdot f_2'} = \Delta |P_p| P_1 P_2 = \frac{\Delta}{f_1'} G_0$$

Avec G_0 le grossissement de l'oculaire

F. Vers la microscopie moderne

Non dit 2019-2020

1. Microscopie traditionnelle

On utilise un **condenseur** (source de lumière + lentille) → éclaire fortement l'objet (→ + on a de lumière, + on voit de détails).

2. Microscopie en épifluorescence

La source de lumière est remplacée : on attache par **construction génétique** des **protéines fluorescentes**.

Si on envoie des **UV**, les **prot. fluo** vont passer dans un **état excité** et émettent une **fluorescence visible** en se désexcitant.

On utilise alors un **miroir dichroïque** → **réfléchit les UV** (qui vont donc sur l'échantillon à observer) mais **laisse passer les rayons visibles**

NB : on parle d'**épifluorescence** car la fluorescence **vient du haut** ≠ micro classique avec lumière venant du bas (condenseur)

Problème : lumière assez diffuse, manque de contraste

3. Microscopie confocale à balayage laser

Les **UV** sont émis par un **laser** balayant dans les **3 directions** de l'espace **autour d'un point donné**, ce qui **améliore le contraste**.

On place un **diaphragme** autour du **foyer** qui ne laisse passer que la fluo d'un **endroit précis** on obtient une certaine **précision**.

On peut aussi **coordonner le laser et le diaphragme** ! Si on coordonne A et A₁, on peut capturer **plusieurs plans** et faire ensuite de la **reconstruction en 3D (ordi)**.

NB : on utilise un **photomultiplicateur** car la quantité de lumière est **réduite** à cause du diaphragme

G. Limites des systèmes optiques simples

Non dit 2019-2020

En utilisant des **microscopes + puissants**, on n'obtiendra pas d'images plus nettes.

En fait à un **certain niveau de détails (> 1 μm)** les détails ne sont **plus résolus** ; leur taille devient **comparable** à la **longueur d'onde** des rayons lumineux utilisés

→ des **phénomènes ondulatoires** apparaissent → **interférences + diffraction**

VII. Les interférences

A. Définitions

Intensité lumineuse moyenne observée suite à la **superposition** de **signaux sinusoïdaux** (les ondes) **déphasés**.

Les ondes sont une **vibration** du **champ électromagnétique + électrique** → les champs électriques s'additionnent.

1. Cas général :

Soient 2 ondes **décalées** l'une par rapport à l'autre, on a une **variation** d'énergie donc une variation de l'**intensité lumineuse**.

2. Ondes en phases :

Les champs électriques s'additionnent → l'**amplitude** est **4x plus grande** (l'énergie du champ électrique correspond au carré du champ électrique), l'intensité est **maximum**.
→ **interférences constructives**

3. Ondes en opposition de phase :

La somme des amplitudes des 2 champs électriques **s'annule**, la **variation** d'énergie est **nulle** → **interférences destructives**

NB : notre capteur (comme l'oeil) observe la **moyenne** de la somme des **2 champs électriques**. La fréquence est trop grande pour qu'on puisse en observer les variations.

B. Interférences à 2 sources d'onde

Soient 2 sources ponctuelles émettant des ondes **monochromatiques** et **cohérentes**.

On voit alors des régions plus lumineuses que d'autres :

- Franges **claires** → interférences **constructives** :

Les ondes partant des 2 sources doivent arriver **en phase** au niveau du capteur → soit un **nombre entier** d'onde :

$$\delta = k \cdot \lambda$$

- Franges **sombres** → interférences **destructives** :

Les ondes arrivent en **opposition de phase** au niveau du capteur

→ un **nombre entier + une demi-longueur** d'onde (→ une onde est à son maxima quand l'autre est à son minima) :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

Dans le cas où $D \gg a$, la **différence de marche** s'écrit : $\delta = a \cdot \sin\theta$

Si l'angle est petit $\sin\theta = \theta$ donc $\delta = a \cdot \theta$

Ainsi l'intensité lumineuse sur l'écran est **périodique** avec une **succession** de franges **claires** et de franges **sombres**.

Point unités

- δ = différence de marche, en m
- k = nombre entier, sans unité
- a = distance entre les 2 sources d'ondes, en m
- λ = longueur d'onde, en m

- θ = angle d'incidence de la source, en rad
- D = distance entre les sources et l'écran, en m
- i = interfrange, en m

Les **maximas** se trouvent sur tous les angles multiples de

$$\frac{\lambda}{a}$$

Les **minimas** se trouvent sur tous les angles multiples de

$$\frac{\lambda}{2a}$$

→ l'angle entre chaque pic = **intervalle angulaire** vaut :

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Ainsi si $\lambda \searrow \rightarrow$ maximas + **serrés**, si $\lambda \nearrow \rightarrow$ maximas + éloignés

si $a \searrow \rightarrow$ maximas + **éloignés**, si $a \nearrow \rightarrow$ maximas + serrés

Interfrange i : distance entre 2 franges sombres/clairées consécutives ou **longueur des tâches** :

$$i = \frac{\lambda.D}{a}$$

Intervalle angulaire en fct° de l'interfrange :

$$\Delta\theta = \frac{i}{D}$$

Ce qui est important ici, c'est de retenir les variations de θ et i en fonction des autres paramètres.

C. Interférences dans des lames minces

On considère ici des **sources étendues**.

Soit un milieu **transparent mince** délimité par 2 dioptries, si on envoie de la lumière, on a 2 types de rayons :

- un **directement réfléchi** sur la surface extérieure
- un pénétrant à l'intérieur de la couche puis **réfléchi sur la surface intérieure**

On aura la possibilité d'observer soit des interférences constructives, soit des interférences destructives

1. Indices optiques égaux à l'extérieur

On admet la **différence de marche** :

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

on a alors :

→ pour les interférences **constructives** :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

→ pour les interférences **destructives** :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

NB : ce phénomène **dépend** donc de la **longueur d'onde**

Point unités

- n = indice optique de la lame mince, sans unité
- e = épaisseur de la couche, en m
- N = nombre de fentes

2. lame sur un matériau d'indice optique supérieur

On admet la **différence de marche** :

$$\delta = 2ne$$

→ pour interférences **destructives** :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

→ pour interférences **constructives** :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

S'il est demandé de calculer plusieurs épaisseurs en QCM, pour les mêmes indices optiques, il faut vérifier l'équation pour k différent de 0 et 1

D. Interférences à N sources = réseau optique

Réseau optique = écran opaque à la lumière avec dedans **fentes très fines**, de façon **périodique**. Chaque fente est alors une source de lumière, on observe des **interférences**.

On peut calculer l'**espacement** entre 2 franges :

$$\frac{\lambda}{a}$$

On peut également calculer les **maximas d'intensité** :

$$\theta = k \cdot \frac{\lambda}{a}$$

La **largeur (angulaire)** des pics **diminue** avec le **nombre de fentes** :

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{N \cdot a}$$

Plus il y a de fentes, plus l'intensité lumineuse est importante : $\frac{I}{I_0} \propto N^2$ avec N le nombre de fentes

Application → **spectroscope** : le réseau optique a la même propriété que le spectroscope mais elle est **plus fine** car chaque faisceau est **étroit** et localisé à des **positions angulaires dépendant de λ** .

Soit 2 pics, en position $\frac{\lambda}{a}$ et $\lambda + \frac{\Delta\lambda}{a}$, pour les distinguer, il faut que le pic en $\frac{\lambda}{a}$ ayant une largeur $\frac{\lambda}{N \cdot a}$ ait une position $\leq \lambda + \frac{\Delta\lambda}{a}$

i.e. $\frac{1}{N} \leq \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ **NB :** $\frac{1}{N} = \text{résolution du réseau}$

Application des interférences : distinction CD/DVD

Sur les disques, il y a une multitude de cavités, on a une **réflexion périodique** et donc des interférences. Plus il y a de **cavités** sur le disque, plus les pics de couleurs sont **éloignés**.

Pour les CD, les interférences ont des pics - **espacés** qu'un DVD car il y a plus de cavités sur la surface.

VIII. Diffraction

A. Définitions

La diffraction est observée lorsque la propagation des ondes est changée par un **obstacle** de taille équivalente à la longueur d'onde ($< 1 \mu\text{m}$). Ce phénomène concerne les sources **étendues** \neq **ponctuelles**.

Mise en application : soit une source étendue et une **ouverture** \cong longueur d'onde, les ondes planes périodiques vont « se casser » et **former de nouvelles ondes**.

On peut remplacer cette ouverture continue par une **infinité de sources ponctuelles** \rightarrow **principe de Huygens-Fresnel** qui fait le lien entre l'**interférence** et la **diffraction**

\rightarrow dépend aussi de l'ouverture, **si ouverture** \searrow , **diffraction** \nearrow .

Non dit
2019-2020

B. Diffraction par une seule fente

L'intensité de diffraction par une fente présente une **tâche centrale intense** et des **tâches satellites avec une intensité + faible**.

On peut retrouver la position des **minimas** :

$$\theta = k \frac{\lambda}{b}$$

La **largeur angulaire tâche centrale**, est définie par :

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$$

Application : La diffraction est aussi observée si l'écran opaque est remplacé par du **vide** et la fente par un **obstacle** de même taille.

On a : $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$ et $\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$ d'où $b = \frac{2\lambda D}{L}$

C. Diffraction par une ouverture circulaire

Figure : tâche centrale (= **d'Airy**) et tâches périphériques

\hookrightarrow demi-largeur angulaire $\theta = 0.61 \frac{\lambda}{r}$ (dans le **vide**)

\hookrightarrow demi-largeur angulaire $\theta = 0.61 \frac{\lambda}{n'r}$ (dans le **pas vide**)

Point unités

- b = largeur de la fente/de l'obstacle, en m
- L = largeur de la tâche centrale, en m

D. Diffraction par deux fentes

Interférences et **diffraction** peuvent être combinées : chaque fente diffracte l'onde et les 2 ondes diffractées interfèrent.

On retrouve les 2 phénomènes :

- **l'interférence** : varie **rapidement** en fct° de la **largeur angulaire** entre chaque frange

$$\frac{\lambda}{a}$$

- **la diffraction** : de modulation **lente**, a pour **dimension angulaire** :

$$\frac{\lambda}{b}$$

IX. Pouvoir de résolution optique

A. Pouvoir de résolution des instruments optiques

On observe une **limite de résolution** avec les microscopes car la lumière rentre par une **ouverture finie** (souvent **circulaire**) → on rencontre le phénomène de **diffraction** de type **tâche d'Airy**.

Donc si on a 2 points lumineux, on obtient **2 tâches d'Airy**.

Ainsi pour voir l'image, il faut distinguer les 2 tâches d'Airy, i.e. qu'elles ne se chevauchent pas.

Critère de Rayleigh : les objets A et B sont **résolus** si le centre de B' coïncide avec le bord de la tache de A'. Donc la **distance angulaire** entre les centres des images doit valoir au moins **l'angle θ_0** .

Pour un instrument avec une ouverture de rayon r, l'image d'une **source ponctuelle** donne une tâche d'Airy **d'extension angulaire $2\theta_0$** ,

$$\theta_0 = 0,61 \frac{\lambda}{n'r}$$

La **limite de résolution spatiale d_{min}** d'un instrument optique est l'écart min entre 2 objets ponctuels permettant de les distinguer :

$$d_{min} = 0,61 \frac{\lambda \cdot D}{n'r} = 0,61 \frac{\lambda}{NA}$$

Ensuite on peut définir le pouvoir séparateur P tel que

$$P = \frac{1}{d_{min}}$$

/!\ Plus la limite de résolution spatiale est petite, plus le pouvoir séparateur est grand +++

B. Pouvoir séparateur de l'œil

En considérant l'œil comme un instrument optique, il est aussi **limité par la diffraction**. En calculant la résolution angulaire, on trouve : **$\theta_0 = 0,15 \text{ mr}$**

En pratique on trouve chez les individus une **résolution angulaire** de **$\theta_0 = 0,30 \text{ mr}$**

On définit une **acuité visuelle** de **10/10** lorsque **$\theta_0 = 0,30 \text{ mr}$**

Le pouvoir séparateur œil est en fait limité par la **structure cellulaire rétinienne**.

X. Optique médicale

A. Introduction

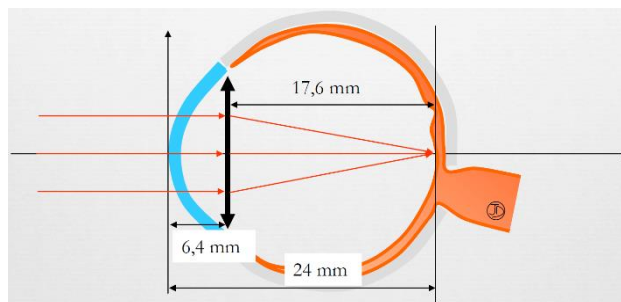
L'œil, composé de la cornée et du cristallin, assimilables à 4 dioptries sphériques :

- **cornéen** antérieur
- **cornéen** postérieur
- **cristallinien** antérieur
- **cristallinien** postérieur

En pratique :

- **cornée** = un seul dioptre de puissance **+42D**
- **cristallin** = lentille **bi-convexe** de puissance **+18D**

Œil simplifié de Donders : 4 dioptries sphériques assimilés à **une seule lentille**



convergente

Cornée + cristallin → **une seule lentille**

convergente :

- puissance totale de **60D**
- longueur de **24mm** (distance cornée-macula)

B. Classification des amétropies

Statiques	Dynamiques
Axiles : longueur de l'œil en cause : - trop court → hypermétropie axiale - trop long → myopie axiale	Presbytie , « vue âgée » : trouble vision de près (33 cm) → éloignement du PP
De courbure : rayon de courbure (cornée) en cause : - trop plate → hypermétropie - trop bombée → myopie	Aphakie : absence de cristallin → hypermétropie avec presbytie « expérimentale »
D'indice : liées au cristallin : - n diminué → hypermétropie (cas extrême → aphakie) - n augmenté → myopie (ou cataracte débutante)	Pseudoaphakie : individu portant un cristallin suite à une opération de la cataracte

C. Myopie

→ **amétropie statique sphérique**

→ système **trop convergent**/œil **trop long** → image **en avant** de la rétine → vision floue de loin

- **PR** : se trouve à une **distance finie** ≠ œil normal
- **PP** : se rapproche aussi
- **parcours d'accommodation** : fini aussi car PR l'est

On distingue **2 types de myopie** : **banale** (<6D) + **maladie** (>6D)

Complications : déchirures rétinienne,
dégénérescence maculaire,
cataracte précoce,
glaucome secondaire

Correction : lentilles **divergentes** → lentilles de contact, lunettes, chirurgie réfractive

⚠ Un patient myope **opéré** de chirurgie réfractive sera **toujours myope** au niveau de la **constitution de son œil** → toutes les complications **ne disparaissent pas**

D. Hypermétropie

→ **la + fréquente des amétropies statiques sphériques chez les enfants** (la prof a fait l'erratum en amphi très vite fait)

→ système **pas assez convergent**/œil **trop petit** → image **en arrière** de la rétine → vision floue à toutes les distances

- **PR** : derrière la rétine, **virtuel**

↳ à une distance finie en arrière → si ↗, hypermétropie ↗

- **PP** : en avant mais **éloigné**

(- *parcours d'accommodation : fini*)

On distingue **2 types d'hypermétropie** : **simple** (<3,5D) + **nanophtalmie** (>6D)

Correction : doit ramener le **foyer image** sur la rétine → utilisation de lentilles **convergentes** → lunettes, lentilles de contact, chirurgie réfractive (pour les **PETITES hypermétropies**).

E. Presbytie

1. Physiopathologie

→ patho du **sujet âgé**

→ **perte d'accommodation** car vieillissement

Accommodation : augmentation du **pouvoir de convergence**, de la **puissance dioptrique** des rayons incidents

→ dépend des **rayons de courbure** ant. + post. du cristallin

→ faite par **muscles ciliaires** : se contractent + cristallin : **épaississement** donc **réduction** rayon de courbure

→ permet de remettre l'image floue des objets **trop proches** sur la rétine

Topo des différentes visions :

	Vision de loin	Objet rapproché
État	Au repos	Accommodation
Mécanismes	Muscles ciliaires relâchés Zonule en tension Cristallin étiré	Muscles ciliaires contractés Zonule relâchée Cristallin bombé
Diamètre antéro-postérieur	Réduit	Augmenté
Rayons de courbure du cristallin	Augmentés	Réduits
Conséquences	↘ puissance convergence cristallin Vision nette objet situé à l'infini	↗ puissance réfractive Vision nette de près en remplaçant image sur rétine

Très bien Jamy, mais keskecé la presbytie ? 🔍

→ **épaississement** et **durcissement du cristallin** + **épuiement des muscles ciliaires** → **vision de près impossible**

On différencie donc 2 explications :

- réduction de l'**efficacité ciliaire**

- réduction de la **compliance lenticulaire**

2. Modifications optiques liées à la presbytie

- éloignement PP **cornée** (dès 10 ans)
- presbytie quand $PP > 33 \text{ cm}$
 - ↪ symptomatologie vers **40-45 ans**, plus précoce en fct° de la profession + des amétropies
 - ↪ PP rejoint PR vers **65 ans** → PA nul

Cas particuliers :

- presbytie plus **tôt** chez l'**hypermétrope** car PP + éloigné de base
- presbytie plus **tard** chez le **myope** car PP + proche de base

3. Traitements

→ **verres sphériques convergents** pour palier au déficit d'accommodation

Lunettes :

- **2 paires de lunettes** : pas pratique + pénible + pas de vision intermédiaire entre le près et le loin

- **Verres en demi-lune/bifocaux** : au-dessus → vision de **loin**, au-dessous → vision de **près**

Problème : sectorisé° espace + impression déplacement objets

- **Verres multifocaux** : verres progressifs → stabilité plages visions lointaines + rapprochés + vision d'ensemble claire sans sectorisé° espace

Lentilles de contact :

- **Monovision** : un seul œil corrigé (1 voit de loin, l'autre de près)

- **Lentilles à vision alternées** : lentilles **rigides**, same as bifocal

- **Lentilles à vision simultanée** : lentilles **progressives, souples**

→ **plusieurs images rétinienne en simultanée** → le cerveau fait la synthèse et choisit

Chirurgie de la cataracte : implant permettant une **multifocalité** → vision de loin + de près

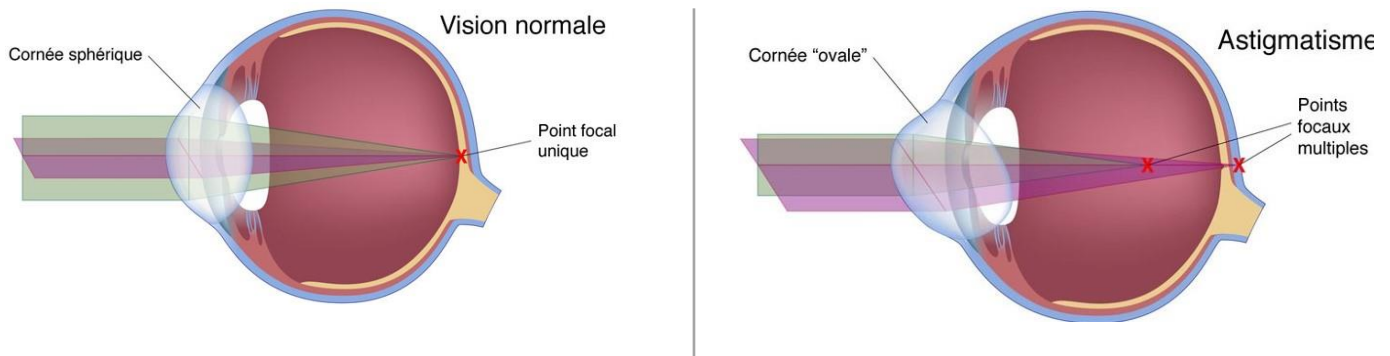
Photoablation au laser = lasing multi-focal : **multifocalité** au niveau de la **cornée** (pas très au point)

F. Astigmatisme

1. Définitions

Astigmatisme : amétropie statique **asphérique** i.e. l'image d'un point donne **2 images linéaires** appelées focales

- dû à une **perte de symétrie de révolut° sphérique** de la cornée
 - ↳ **différence de puissance** entre les **méridiens** : le + courbe sera le + convergent
- **réfraction inégale** entre les deux méridiens



2. Classification

Conoïde de Sturm : analyse du comportement d'un faisceau lumineux sur un **œil astigmatique**

- ↳ cornée astigmatique fait **converger vers une droite focale antérieure** et une **droite focale postérieure**, en fct° des méridiens

NB : la plupart des astigmatismes sont **cornéens** (d'autres sont extra-cornéen (ex : cristallinien))

Il existe différents niveaux de classification :

1^{er} niveau	Régulier	<ul style="list-style-type: none"> - le plus fréquent - souvent congénital - variations de courbure régulières
	Irrégulier	<ul style="list-style-type: none"> - moins fréquent - astigmatisme acquis - variations de courbures irrégulières
2^{ème} niveau	Direct (conforme à la règle)	Rayon de courbure du méridien vertical est + petit (+ convergent) ↳ focale horizontale en avant de la verticale → le mieux toléré
	Indirect (non conforme à la règle)	Rayon de courbure du méridien horizontal + petit (+ convergent) ↳ focale verticale en avant de l'horizontale → acquis, mal supporté
3^{ème} niveau	Simple	Une des focales sur la rétine
	Composé	Les 2 focales du m ^ê côté de la rétine
	Mixte	Focales de part et d'autre de la rét.
Astigmatisme oblique	Méridiens → obliques, en général à 45° et 135° (restent ⊥ entre eux) → mal supporté	

3. Le patient astigmat

Épidémiologie :

- **Astigmatisme régulier isolé : 18%** des amétropies
- **Astigmatisme régulier + autre amétropie : 32%** des amétropies

Évolution : astigmatisme direct congénital disparaît en général entre 1 et 4 an → diminution de la puissance + axe non modifié

Signes cliniques :

- Baisse de l'acuité visuelle
- Fatigue visuelle (céphalées par effort visuel)
- Confusion/difficulté de distinction pour les chiffres et lettres
- Vision floue **quelle que soit la distance** → image non ponctuelle : lignes à la place de points
↳ acuité visuelle meilleure si focale verticale sur rétine (car + de lignes verticales qu'horizontales dans le monde humain)

NB : un astigmat ne pourra pas simultanément voir de façon nette les lignes horizontales et verticales, au mieux il y aura une focale sur la rétine

4. Examens

- **Réfractomètre automatique :** donne la puissance et l'axe de l'astigmatisme → correction avec verres cylindriques pour corriger une des focales
- **Topographie cornéenne :** représente graphiquement la courbure de la surface cornéenne

5. Traitements

- Lunettes
- Lentilles de contact : **toriques** pour les astigmates
- Chir incisionnelle : bomber le mér. le + plat et aplanir le + bombé
- Chir de la cataracte avec implant torique : quand patient a cataracte + astigmatisme
- LASIK : pour astigmates faibles, simples, réguliers

Alors cette fiche est peut-être longue et vous fait peut-être peur mais elle rassemble 3 ronéos en une seule fiche, soit 8h de cours ! J'ai tout rassemblé sur une seule fiche car certaines infos de l'optique géo étaient redondantes par rapport à l'optique médicale, donc plutôt que de me répéter, tout est au même endroit !