

## 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 !

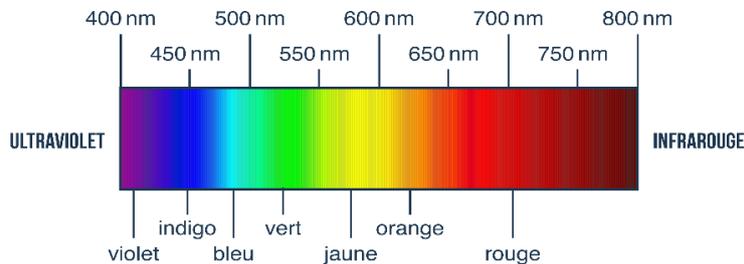
Toute onde a une **longueur** (d'onde) et une **fréquence**, pour la lumière on a :  $c = \lambda \nu$

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
- $\epsilon_r$  = 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  $\lambda$  qui est divisé par  $n$  (car **fréquence = constante**) :

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

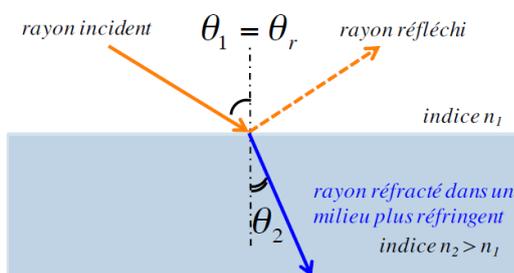
### III. Optique géométrique

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

### IV. Réfraction et réflexion

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

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



**Définition :**

**Dioptré :** 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

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

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

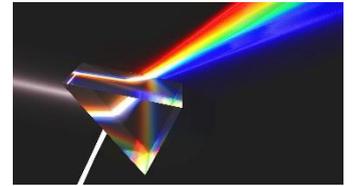
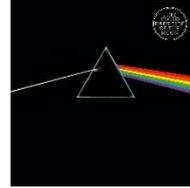
**NB :** cette équation (\*) admet **toujours** une solution car  $n_1 > n_2$

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**.

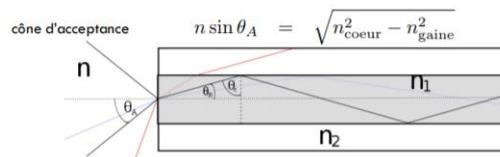
**Applications de la réflexion totale :**

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  $42^\circ$ , donc pour un **angle incident de  $45^\circ$**  → **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

$\theta_m$  : **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 spectroscope !

**Point unités**

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

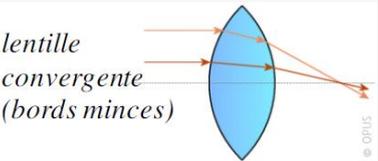
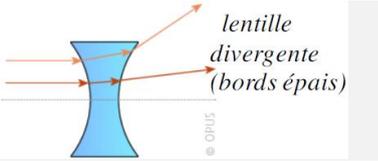
## V. Lentilles/dioptres sphériques

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 <b>minces</b>	Lentille à bords <b>épais</b>
	
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 <b>hypermétropie</b>	Correction <b>myopie</b>

**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 **conjugés**

→ 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. Dioptrés sphériques

Dioptré <b>convexe</b>	Dioptré <b>concave</b>
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 dioptré sphérique :

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

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

Si  $D > 0$  → dioptré **convergent**

Si  $D < 0$  → dioptré **divergent**

#### Point unités

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

### 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** :  $\overline{SF}' = f'$

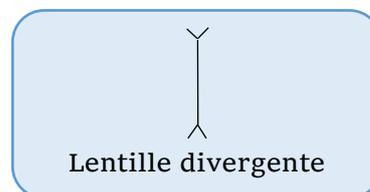
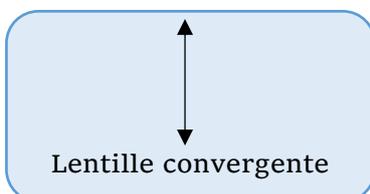
Le plan  $\perp$  à l'AO et passant par le foyer image = « **plan focal image** ».

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

### D. Lentilles minces

**dioptré 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**.

**/Δ** 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 !*

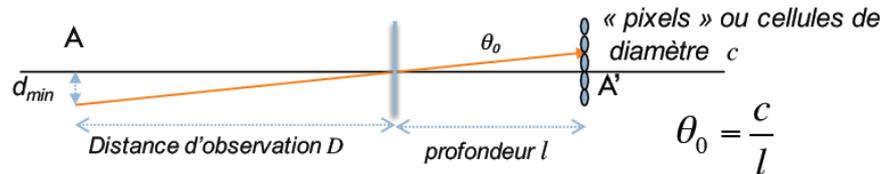
## VI. Systèmes optiques simples

**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  $\theta_0$  → dedans → tous les points émettant de la lumière **entre A et un autre point limitant  $\theta_0$** , vont voir leurs rayons **converger vers ce même capteur**

→ on ne distingue pas des points mais **des éléments** avec une **taille limitée par  $\theta_0$**  (**limite de résolution angulaire**). On a :

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

⇒ On peut définir le **pouvoir de résolution angulaire  $P_R$**  :  $P_R = \frac{1}{\theta_0} = \frac{l}{c}$  +++

**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) :

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

### B. Profondeur de champ

**Distance entre le 1<sup>er</sup> et le dernier plan de l'espace des objets apparaissant nets sur le capteur.**

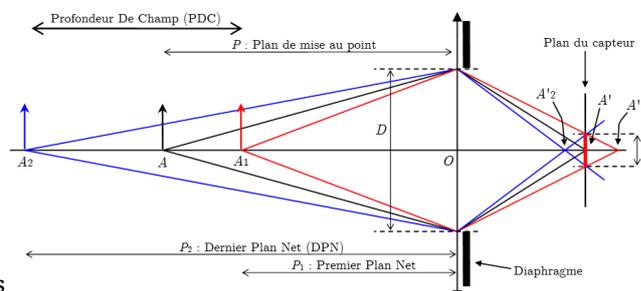
Elle s'exprime en fonction de la **Distance Hyperfocale** : distance du 1<sup>er</sup> plan net avec **MaP à l'infini** (i.e. image assez éloignée pour que **plan image = plan focal image**, les **rayons sont alors parallèles entre eux**).

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  $D \geq H$  → **PdC infinie (+++)**



#### **Point unités**

- $c$  = diamètre du capteur, en m
- $l$  = profondeur, en m
- $D$  = distance d'observation, en m
- $H$  = distance hyper focale, 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) ( $\searrow$  chez l'enfant  $\nearrow$  chez les PA)

**Parcours d'accommodation** : parcours entre le PP et le PR  $\rightarrow$  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  $\theta'$ , 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<sup>ère</sup> lentille** : **objectif**, lentille principale, la + grossissante

$\rightarrow$  donne **sa qualité** à l'image

$\rightarrow$  donne une image intermédiaire **agrandie** et **renversée**

$\rightarrow$  l'objet AB doit être **au plus proche du foyer objet  $F_1$**

**2<sup>ème</sup> lentille** : **oculaire**, permet des **précisions différentes**

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

$\rightarrow$  agit comme une loupe  $\rightarrow$  **image + grande se projetant à l'infini**

On définit **l'intervalle optique  $\Delta$**  : 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 A<sub>1</sub>, 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

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

- $\theta$  = 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/clairés consécutives ou **longueur des tâches** :

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

**Intervalle angulaire** en fct° de l'interfrange :

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

Ce qui est important ici, c'est de retenir les variations de  $\theta$  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 dioptrés**, 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** → **spectroscopie** : le réseau optique a la même propriété que le spectroscopie mais elle est **plus fine** car chaque faisceau est **étroit** et localisé à des **positions angulaires dépendant de  $\lambda$** .

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**

Non dit  
2019-2020

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

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

#### Point unités

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

### 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**)

### 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  $\theta_0$** .

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

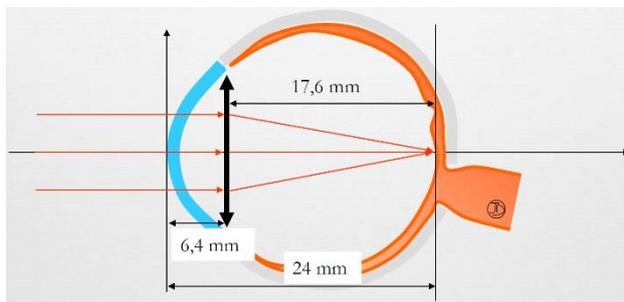
L'œil, composé de la cornée et du cristallin, assimilables à 4 dioptries sphériques :

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

En pratique :

- **cornée** = un seul dioptrie 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
<p><b>Axiles</b> : <b>longueur</b> de l'œil en cause :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- trop <b>court</b> → <b>hypermétropie axiale</b></li> <li>- trop <b>long</b> → <b>myopie axiale</b>)</li> </ul>	<p><b>Presbytie, « vue âgée »</b> : trouble <b>vision de près</b> (33 cm) → éloignement du PP</p>
<p><b>De courbure</b> : rayon de courbure (<b>cornée</b>) en cause :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- trop <b>plate</b> → <b>hypermétropie</b></li> <li>- trop <b>bombée</b> → <b>myopie</b></li> </ul>	<p><b>Aphakie</b> : absence de cristallin → <b>hypermétropie</b> avec <b>presbytie</b> « expérimentale »</p>
<p><b>D'indice</b> : liées au cristallin :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n <b>diminué</b> → <b>hypermétropie</b> (cas extrême → <b>aphakie</b>)</li> <li>- n <b>augmenté</b> → <b>myopie</b> (ou <b>cataracte débutante</b>)</li> </ul>	<p><b>Pseudoaphakie</b> : individu portant un <b>cristallin</b> suite à une <b>opération de la cataracte</b></p>

### 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
<b>État</b>	Au repos	Accommodation
<b>Mécanismes</b>	<b>Muscles ciliaires</b> relâchés <b>Zonule</b> en tension <b>Cristallin</b> étiré	<b>Muscles ciliaires</b> contractés <b>Zonule</b> relâchée <b>Cristallin</b> bombé
<b>Diamètre antéro-postérieur</b>	Réduit	Augmenté
<b>Rayons de courbure du cristallin</b>	Augmentés	Réduits
<b>Conséquences</b>	↘ 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** + **épauement 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  $PP > 33$  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** : sectorisat° espace + impression déplacement objets

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

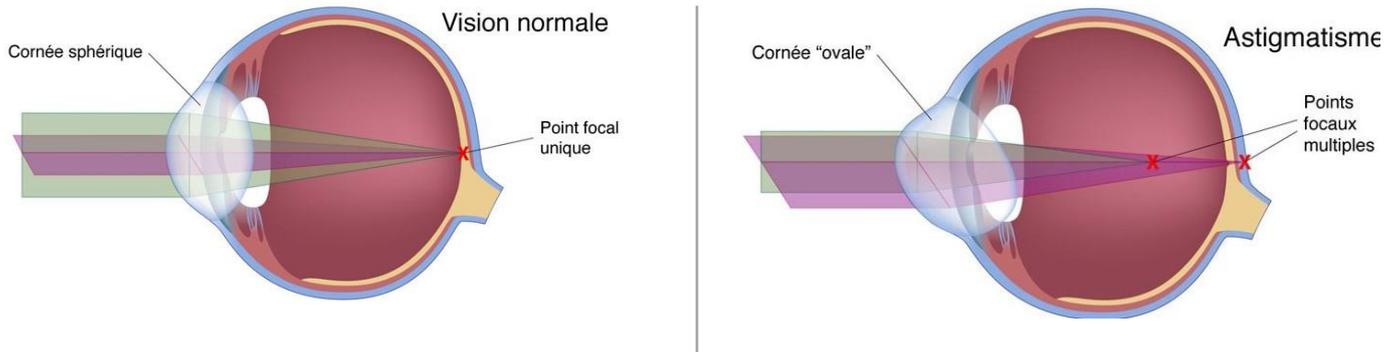
**Photoablation au laser = lasing multi-focal** : **multifocalité** au niveau de la **cornée** (pas très au point)

## 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 astigmaté**

- ↳ cornée astigmaté 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 :

<b>1<sup>er</sup> niveau</b>	<b>Régulier</b>	- le plus fréquent - souvent congénital - variations de courbure régulières
	<b>Irrégulier</b>	- moins fréquent - astigmatisme acquis - variations de courbures irrégulières
<b>2<sup>ème</sup> niveau</b>	<b>Direct (conforme à la règle)</b>	Rayon de courbure du méridien <b>vertical</b> est + petit (+ convergent) ↳ <b>focale horizontale en avant</b> de la verticale → le mieux toléré
	<b>Indirect (non conforme à la règle)</b>	Rayon de courbure du méridien <b>horizontal</b> + petit (+ convergent) ↳ <b>focale verticale en avant</b> de l'horizontale → acquis, mal supporté
<b>3<sup>ème</sup> niveau</b>	<b>Simple</b>	Une des focales sur la rétine
	<b>Composé</b>	Les 2 focale du m <sup>e</sup> côté de la rétine
	<b>Mixte</b>	Focales de part et d'autre de la rét.
<b>Astigmatisme oblique</b>	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 !*