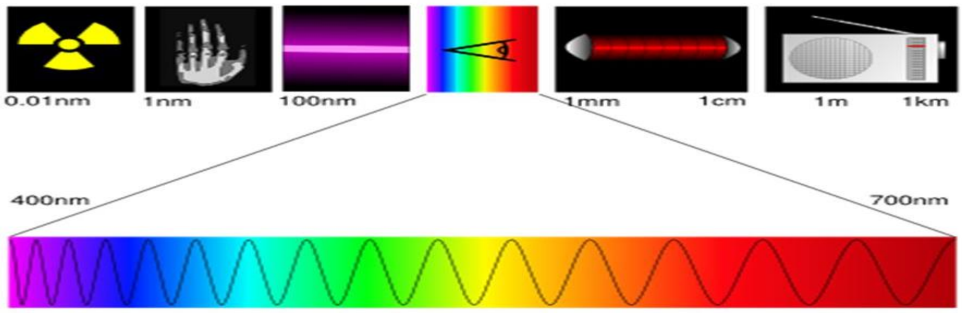
FICHE N°2 : OPTIQUE GEOMETRIQUE ET ONDULATOIRE

1. INTRODUCTION

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 : $c = \lambda\nu$

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.
Tout REM avec une **longueur d'onde supérieure à celle du visible** n'est pas nocif pour le corps car non-ionisant.



Pour les longueurs d'onde :
Rayons γ < rayons X < UV < VISIBLE < infrarouges < micro-ondes < ondes radios

Domaine visible = 400 nm à 700nm

2. PROPAGATION DE LA LUMIERE AU SEIN D'UN MATERIAU

Quand la lumière passe dans un **milieu matériel** (ex : eau) sa **vitesse diminue**

$$v = \frac{c}{n} < 3.10^8 m.s^{-1}$$

$$n = \sqrt{\varepsilon_r}$$

n dépend de la longueur d'onde et la **fréquence** est constante

C'est donc λ qui est divisé par n

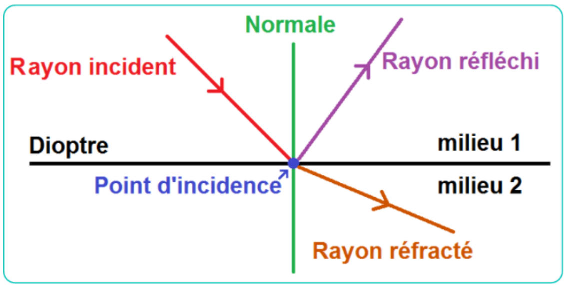
$$v = \frac{c}{n} = \frac{\lambda\nu}{n} = \frac{\lambda}{n}\nu$$

3. OPTIQUE GEOMETRIQUE

	Optique géométrique	Optique ondulatoire
Définition	Étude des rayons, sur des systèmes simples	Étude de la lumière lorsqu'elle passe dans une fente/ un obstacle d'une largeur **proche de la longueur d'onde**
Ordres de grandeur	$> 1\mu m$	$\cong 1\mu m$
Applications	Lentilles minces + dioptres sphériques	Interférences + diffraction

A) REFRACTION ET REFLEXION

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



Définition :

Dioptre : interface lisse entre 2 milieux optiques caractérisés par des **indices optiques différents n1 et n2**. Il peut être plan ou sphérique.

	Rayons	Angles
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) Entre la normale et le rayon réfléchi
Réfracté	Direction différente de l'incident	Entre la normale et rayon réfracté (→ loi de Snell-Descartes)

$\theta_1 : angle\ incident$

$\theta_1' : angle\ réfléchi$

$\theta_2 : angle\ réfracté$

$\boldsymbol{\theta_1 = \theta_1'}$ **MAIS**

$\boldsymbol{\theta_2 \neq \theta_1}$

Le rayon change d'angle lorsqu'il est transmis (réfracté) selon la **loi de Snell-Descartes** :

$$n_1.\sin(\theta_1) = n_2.\sin(\theta_2)$$

Quelques cas particuliers :

- si **l'angle incident = 0** → pas de déviation
- si $\boldsymbol{n1} = \boldsymbol{n2}$ → pas de déviation
- si le rayon incident vient depuis le milieu le plus réfringent (i.e. **n1>n2**) : possibilité de **réflexion totale**. La réflexion totale c'est quand il n'y a pas de rayon réfracté, cad que le rayon ne se dédouble pas, il est totalement réfléchi.

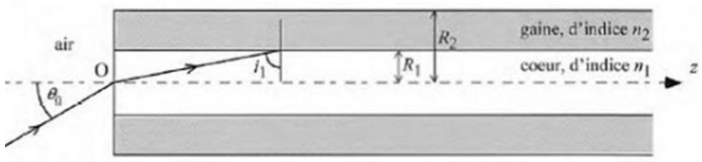
<u>Réflexion totale lorsque</u> : $\theta_L \geq arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ Cette équation admet toujours une solution dans le cas où $n_1 > n_2$

Si $n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} > 1$ Or un arcsin ne peut être supérieur à 1 donc cette équation n'admet pas de solution. Cela montre bien que pour avoir une réflexion totale il faut que le rayon incident provienne du milieu le plus réfringent et aille vers le milieu le moins réfringent.

<u>Applications de la réflexion totale</u> :

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

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



<u>3. Angle d'acceptance (+++)</u> : (demi)angle pouvant permettre une réflexion totale → est à la base du **cône d'acceptance** (composé de « 2 » angles d'acceptance) :

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

<u>Moment mnémotechnique :</u>

Pour retenir l'ordre des valeurs dans la racine, je me disais que le cœur c'est le plus important donc n_{coeur} est avant n_{gaine}

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

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

$$NA = n.\sin\theta_A$$

Ou

$$NA \simeq \frac{nr}{D} \text{ si } \theta_A \ll 1$$

Ou dans le cas de la **fibre optique**

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

$\boldsymbol{\theta_m}$: plus grand angle sous lequel sous lequel un **objet ponctuel A sur l'axe optique voit l'entrée de l'instrument.**

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

<u>Autre cas particulier</u> :

<u>La dispersion</u> : réfraction dépendante de la longueur d'onde

Sur un **prisme non droit** (i.e. angle au sommet ≠ 90°) → le rayon incident subit 2 déviations (→ entrée + sortie). Cet ensemble de réfractions forme **l'angle D = angle de déviation**

<u>NB</u> : si l'angle incident n'est pas trop grand, on peut utiliser **l'approximation** $D \approx (n-1)\,A$

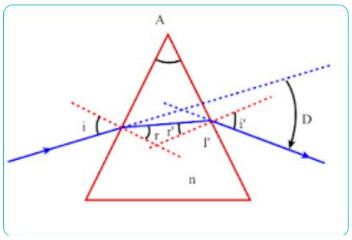
Loi de Cauchy :

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

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

Moment mnémotechnique :

« bleu » me fait penser à « beuh » et la beuh ça rend déviant donc le bleu est plus dévié que le rouge.

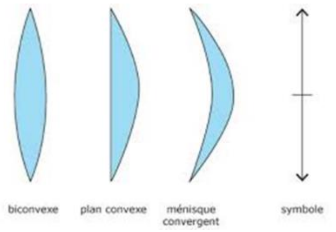
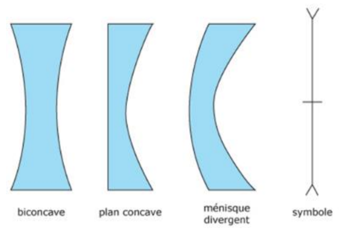


B. LENTILLES ET DIOPTRES

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 **dioptres sphériques**.

1) DEFINITIONS

Lentille : association de deux dioptres souvent sphériques.

Lentilles à bords minces	Lentilles à bords épais
	
Convergentes : Fait converger les rayons lumineux // venant de l'infini vers le foyer image Fi	**Divergentes** : Fait diverger les rayons lumineux // venant de l'infini en avant du dioptre -> foyer image virtuel
Corrige **l'hypermétropie**	Corrige la **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 rigoureux → dû à la **symétrie de révolution** des dioptres oculaires

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

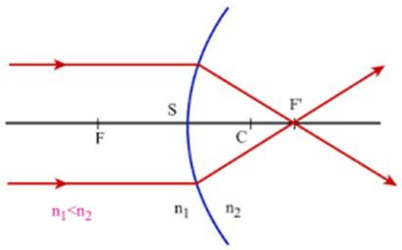
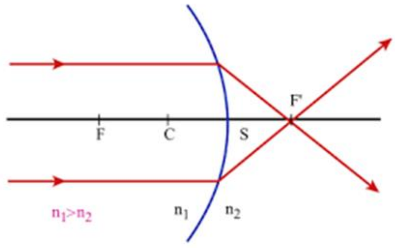
Rayons paraxiaux : dans un système **centré**, ce sont des rayons ne formant que de petits angles par rapport à l'axe optique.

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-postérieurs → ~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 convergent vers un objet virtuel.

2) DIOPTRES SPHERIQUES

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

S : sommet

C : centre

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

D : vergence (en dioptries)

D > 0 → dioptre **convergent**

D < 0 → dioptre **divergent**

$p = \overline{SA}$: distance objet

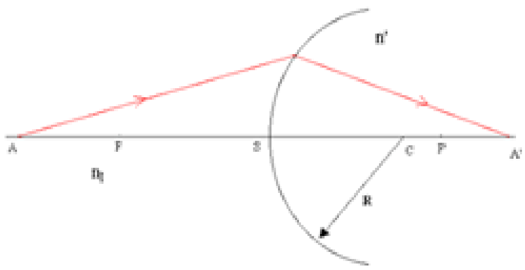
p > 0 → objet **virtuel**

p < 0 → objet **réel**

$p' = \overline{SA'}$: distance image

p' > 0 → image **réelle**

p' < 0 → image **virtuelle**



3) FOYERS ET DISTANCES FOCALES

Foyer objet F : Point **à partir duquel divergent** des rayons de manière parallèle à l'axe optique.

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

Distance focale objet : $-f = -\overline{SF}$

Le plan ⊥ 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 : $f' = \overline{SF'}$

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

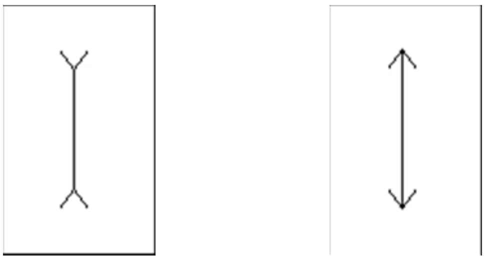
Moment mnémotechnique :

Pour se rappeler de $D = -\frac{n}{f}$ j'avais une phrase : « Devant moi Nadine fuit »
- Devant : D
- Moi : signe –
- Nadine : n
- Fuit : f

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

4) LENTILLES MINCES

NB : La **vergence** de deux lentilles minces accolées s'additionnent.



Lentille divergente Lentille convergente

Les 3 règles de construction 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.

Les foyers images et objets sont **inversés** selon si la lentille est convergente ou divergente (le foyer objet est avant une lentille convergente mais après une lentille divergente et inversement pour le foyer image).

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

Si $\gamma > 0$ → image à l'endroit

Si $\gamma < 0$ → image renversée

Si $|\gamma| > 1$ → image agrandie

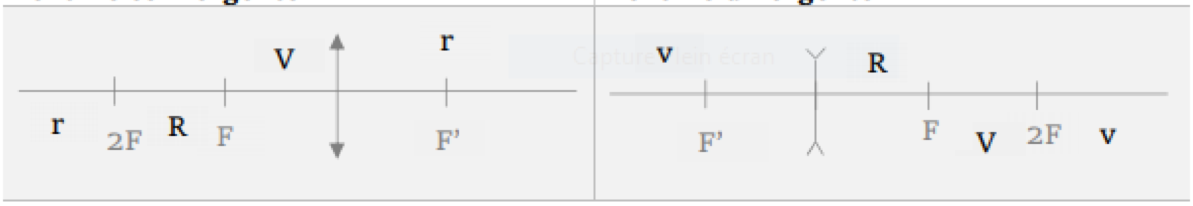
Si $|\gamma| < 1$ → image rétrécie

NB1 : pour un objet à **distance 2F** → **γ = 1**

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

Petit moyen mnémotechnique du tuteur d'il y a 3 ans (petit secret de famille) :

Lentille convergente **Lentille divergente**



L'emplacement des lettres par rapport à la lentille correspond à la position de l'objet.

L'emplacement des lettres par rapport à l'axe optique correspond au retournement de l'image : renversée si dessous et à l'endroit si au dessus.

Les lettres sont en majuscule si l'image est agrandie et en minuscule si rétrécie et v = virtuelle alors que r = réelle.

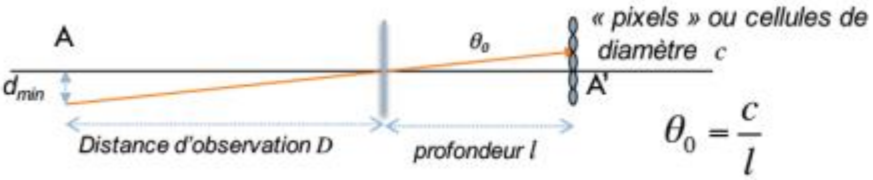
5) SYSTEMES OPTIQUES SIMPLES

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 $\boldsymbol{\theta_0}$→ dedans → tous les points émettant de la lumière entre A et un autre point limitant $\boldsymbol{\theta_0}$, vont voir leurs rayons converger vers ce même capteur
→ on ne distingue pas des points mais des éléments avec une taille limitée par $\boldsymbol{\theta_0}$ (limite de résolution angulaire). On a :

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

⇒ On peut définir le pouvoir de résolution angulaire PR :

$$P_r = \frac{1}{\theta_0} = \frac{l}{c}$$

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

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

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

$$P_s = \frac{1}{d_{min}} = \frac{1}{D.\theta_0} = \frac{l}{D.c}$$

b) *Profondeur de champ*

Le prof avait sauté toute cette partie sur la profondeur de champ en cours l'année dernière. Comme les années précédentes il l'avait faite, je vous la mets quand même mais ne vous prenez pas la tête ce ne sera normalement pas au concours (je dis bien normalement, on sait jamais).

Distance entre le 1er 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 1er 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**).

On en déduit que

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

Donc si **D≥H** → PdC infinie (+++)

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

Instant 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) *L'œil*

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 **PR=infini**

Punctum proximum : point **le plus proche** de l'AO donnant une **image nette** avec accommodation max Pour œil adulte normal : **Pp=25cm** (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 :

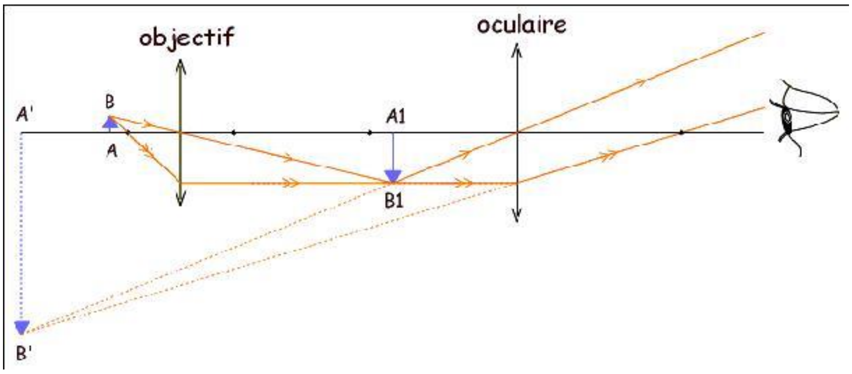
$$G = \frac{P_p}{f'}$$

Puissance :

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

NB : On peut donc exprimer le grossissement en fonction de la puissance : $G = |P_p|.P$

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 F1

2 ème lentille : oculaire, permet des précisions différentes

→ l'image intermédiaire **A1B1** 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 F1' et le foyer objet F2 de l'oculaire

On a $\tan\theta' = \frac{A1B1}{f'_2}$ et $\tan\theta = \frac{AB}{|P_p|}$ le grossissement vaut donc :

$$G = \frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{|P_p|.\Delta}{f'_1.f'_2} = \Delta|P_p|P_1P_2 = \frac{\Delta}{f'_1}G_0$$

avec G_0 le grossissement de l'occulaire

f) Vers la microscopie moderne

Toute cette partie sur la microscopie moderne n'a pas été abordée par le prof en cours l'année dernière mais je vous la mets quand même au cas où.

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

Pareil que la partie précédente, pas dite l'an dernier mais je la mets au cas où

En utilisant des microscopes + puissants, on n'obtiendra pas d'images plus nettes. En fait à un certain niveau de détails (> $\mathbf{1\ \mu m}$) 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

4. OPTIQUE ONDULATOIRE

A. DEFINITIONS

Intensité lumineuse moyenne due à **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 maximale. → **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**

B. INTERFERENCES A 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** : $\boldsymbol{\delta = k\lambda}$

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

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

Si l'angle est petit $\boldsymbol{\sin\theta = 0}$ donc $\boldsymbol{\delta = a.\theta}$

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

Instant unités :

- $\boldsymbol{\delta}$ = $différence\ de\ marche$, en m
- $\boldsymbol{k}$ = $nombre\ entier$, sans unité
- $\boldsymbol{a}$ = $distance\ entre\ les\ 2\ sources\ d'ondes$, en m
- $\boldsymbol{\lambda}$ = $longueur\ d'onde$, en m
- $\boldsymbol{\theta}$ = $angle\ d'incidence\ de\ la\ source$, en rad
- $\boldsymbol{D}$ = $distance\ entre\ les\ sources\ et\ l'écran$, en m
- $\boldsymbol{i}$ = $interfrange$, en m

Les maximas se trouvent sur tous les angles multiples de $\boldsymbol{\frac{\lambda}{a}}$

Les minimas se trouvent sur tous les angles multiples de $\boldsymbol{\frac{\lambda}{2a}}$

→ l'angle entre chaque pic = intervalle angulaire vaut : $\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$

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

si $a \searrow$ → maximas + éloignés, si $a \nearrow$ → maximas + serrés

Interfrange i : distance entre 2 franges sombres/claires consécutives ou longueur des tâches : $i = \frac{\lambda D}{a}$

Intervalle angulaire en fct° de l'interfrange : $\Delta\theta = \frac{i}{D}$

C. INTERFERENCES DANS DES LAMES MINCES

On considère ici des **sources étendues**.

Soit un milieu **transparent** mince délimité par 2 dioptres, 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

1) INDICES OPTIQUES EGAUX A L'EXTERIEUR

On admet **la différence de marche** : $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$

→ pour les interférences constructives, l'épaisseur minimale vaut : $e = \frac{\lambda}{4n}$

→ pour les interférences destructives, l'épaisseur minimale vaut : $e = \frac{\lambda}{2n}$

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

Instant unités :

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

2) LAME SUR UN MATERIAU D'INDICE OPTIQUE SUPERIEUR

On admet la **différence de marche** : $\delta = 2ne$

→ pour interférences destructives, l'épaisseur minimale vaut : $e = \frac{\lambda}{4n}$

→ pour interférences constructives, l'épaisseur minimale vaut : $e = \frac{\lambda}{2n}$

Ce sont les épaisseurs minimales, l'expression des épaisseurs en général sont pour les interférences destructives : $e = \left(k + \frac{1}{2}\right) * \frac{\lambda}{2n}$ avec k un entier positif. Donc il peut y avoir plusieurs épaisseurs pour lesquelles il y a des interférences destructives (QCMs !!!)

D. INTERFERENCES A N SOURCES = RESEAU 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 : $\theta = k\frac{\lambda}{a}$

La **largeur** (angulaire) des pics diminue avec le nombre de fentes : $\Delta\theta = \frac{2\lambda}{N.a}$

/!\ Plus il y a de fentes, plus l'intensité lumineuse est importante

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 $\frac{\lambda}{N.a}$ ait une position $\leq \lambda + \frac{\Delta\lambda}{a}$

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

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 **moins espacés** qu'un DVD car il y a plus de cavités sur la surface.

E. DIFFRACTION

1) DEFINITIONS

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

Mise en application : soit une source étendue et une ouverture ≅ 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** → **principe de Huygens-Fresnel** qui fait le lien entre **l'interférence** et la **diffraction** → dépend aussi de l'ouverture, si ouverture ↘, diffraction ↗.

2) DIFFRACTION PAR UNE SEULE FENTE

La figure 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 de la 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.

La **largeur de la tâche centrale** se trouve **en multipliant** la largeur angulaire par la distance d'observation :

$L = \frac{2\lambda}{b}D$ Donc $b = \frac{2\lambda D}{L}$

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

3) DIFFRACTION PAR UNE FENTE CIRCULAIRE

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

➔ demi-largeur angulaire $\Delta\theta = 0,61\frac{\lambda}{r}$ dans le **vide**

➔ demi-largeur angulaire $\Delta\theta = 0,61\frac{\lambda}{rn'}$ dans un **matériau d'indice n'**

4) 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 : $\frac{\lambda}{b}$

NB : Les interferences varient rapidement en fonction de a.

La diffraction varie lentement en fonction de b.

F. POUVOIR DE RESOLUTION OPTIQUE

1) POUVOIR DE RESOLUTION 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 $\boldsymbol{\theta_0}$**.

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

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

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

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

Ensuite on peut définir le **pouvoir séparateur P** tel que

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

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

2) POUVOIR SÉPARATEUR DE L'OEIL

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

En pratique on trouve chez les individus une résolution angulaire de $\boldsymbol{\theta_0 = 0,30\ mr}$. On définit une acuité visuelle de 10/10 lorsque $\boldsymbol{\theta_0 = 0,30\ mr}$. Le pouvoir séparateur de l'œil est en fait **limité par la structure cellulaire rétinienne**.