

Leçon de Physique n°16 Microscopies optiques

Niveau : CPGE 1ère année

Programme :

Notions et contenus

Capacités exigibles

1.1. Formation des images

Sources lumineuses

Modèle de la source ponctuelle monochromatique.
Spectre.

Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.

Modèle de l'optique géométrique

Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent.

Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.

Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.
Conditions de l'approximation de Gauss et applications
Stigmatisme.
Miroir plan.

Établir la condition de réflexion totale.

Construire l'image d'un objet par un miroir plan.

Conditions de l'approximation de Gauss.

Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences.
Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.

Lentilles minces dans l'approximation de Gauss.

Définir les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.
Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton.
Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.

Modèles de quelques dispositifs optiques

L'œil.
Punctum proximum, punctum remotum.

Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe.
Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.

Système optique à plusieurs lentilles.

Modéliser, à l'aide de plusieurs lentilles, un dispositif optique d'utilisation courante.

Livres : Perez Optique, Tout-en-un PCSI DUNOD, Sextant Optique, Composition de physique agrégation 2015, Balland Optique géométrique

Pré-requis : Conditions de l'optique géométrique (approximation de Gauss : objectif au voisinage de l'axe, rayons peu inclinés=rayons paraxiaux), optique géométrique (relation

de conjugaison), principe de Fermat (= trajet de plus courte durée), lois de Snell-Descartes, aplanétisme (tout objet plan $AB \perp \Delta \rightarrow$ image $A'B'$ plane $\perp \Delta'$), stigmatisme (rayons issus d'un point objet A_0 émergeant de l'instrument en convergeant vers un point A_i ont tous la même valeur de chemin optique), diaphragme de champ (limite le champ) et d'ouverture (limite la quantité de lumière), diffraction

Introduction :

A partir des principes que nous avons vu dans les leçons précédentes, nous allons pouvoir concevoir un microscope optique dont le but est d'améliorer la perception des détails d'un objet (qui ne peuvent être observés à l'oeil nu). L'oeil peut voir des détails de l'ordre de 0,1mm (pouvoir séparateur angulaire $\approx 1'$ d'arc $= 1/60^\circ \approx 3 \cdot 10^{-4}$ rad \Rightarrow détails $\approx d_m \times 3 \cdot 10^{-4}$). Dans cette leçon, nous allons partir de la loupe pour arriver à l'étude des microscopes.

I – De la loupe au microscope Sextant (FACULTATIF ?)

Pour mieux voir les détails d'un objet \Rightarrow le placer punctum proximum (≈ 25 cm) mais nécessite d'accommoder au maximum \Rightarrow fatigue de l'oeil

Le moins fatiguant, oeil au repos \Rightarrow observer un objet à l'infini

Principe : faire une image à l'infini de l'objet

Loupe = L_{conv} avec $f < d_m$ avec $d_m =$ punctum proximum : distance à l'oeil du point le plus proche que l'on peut voir net

Expérience {oeil+loupe} : *Sextant p. 28*

Faire les schémas au tableau : observation à l'oeil nu + observation à la loupe

*Grossissement de la loupe : $G = \beta/\alpha$ (= d_m/f_3 le montrer)

Faire les mesure de β et α en vérifier la loi

*Puissance : $P = \beta/AB$, AB en mètre, P en dioptries \Rightarrow montrer que $P = 1/f_3$, donner la valeur

*En pratique, une loupe a une puissance 5 fois plus grande, soit en pratique 10 à 50 dioptries \Rightarrow distance focale comprise entre 10 et 2 cm (loupe de $f = 2$ cm \Rightarrow loupe d'horloger)

Problème : plus on veut voir de détails, plus il faut une petite $f \Rightarrow$ trop près, pas assez éclairé \Rightarrow autre dispositif !

II – Le microscope

1) Description

Représentation d'un microscope optique : deux systèmes centrés bien distincts : l'objectif (3 lentilles = système complexe pour corriger les aberrations) et l'oculaire (jusqu'à 7 lentilles). cf. *Perez Optique*

Microscope : début du XVII^{ème} siècle

Montrer un microscope et le décrire *Balland*

Faire le schéma *Balland*

Définir l'intervalle optique Δ

Montage : construire le modèle du microscope *Sextant p.30-31*

Objet : quadrillage diffusant \rightarrow mesurer le grandissement de l'objectif avec écran dans le plan $A'B'$ \Rightarrow vérifier que $\gamma = A_1B_1/AB = \Delta/f$ (avec f distance focale de l'objectif) (cf. *Balland* pour les calculs)

2) Cercle oculaire et position de l'oeil Balland

Montrer graphiquement. Reprendre schéma précédant et ajouter les rayons qui se croisent en A_1

3) Puissance et grossissement Perez et Balland

*Puissance

Définition et formule

AN → *Perez*

*Grossissement :

Définition et formule

Montage : Mesurer les angles pour calculer le grossissement *Sextant p.31*

Grossissement commercial

Comparaison avec la focale d'une loupe pour obtenir les caractéristiques identiques à celles d'un microscope.

4) Profondeur de champ et mise au point *Perez et Balland*

5) Ouverture numérique (*Perez*) et limite de résolution

à quoi sert l'ouverture numérique ?

L'ouverture numérique a une influence sur :

- la quantité de lumière reçue par l'oeil
- la profondeur de champ (d'autant plus courte que O.N. est grande)
- le pouvoir de résolution

III – Autres exemples de microscopes

1) Microscope pour objet opaque *Perez*

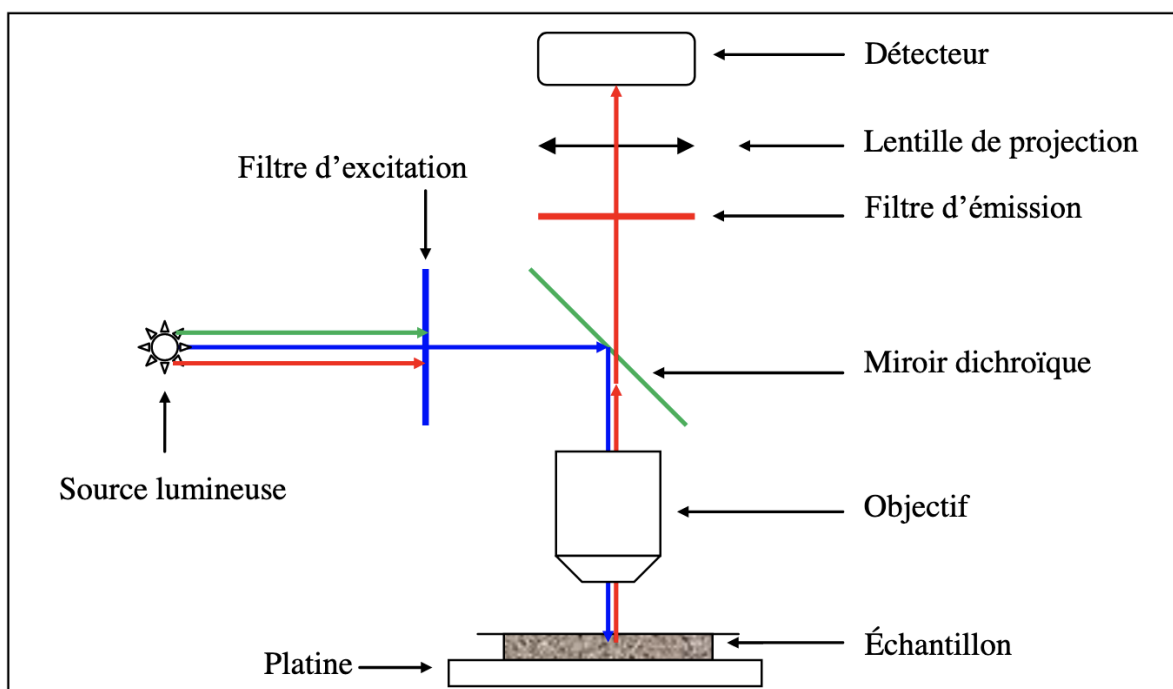
2) Microscope en champ sombre *Perez*

3) Microscope à fluorescence *Composition 2015*

En plus des éléments d'optique conventionnels :

- filtre d'excitation qui permet de sélectionner la longueur d'onde excitatrice des molécules fluorescentes (fluorophores) de l'échantillon (les photons émis par fluorescence n'ont pas de direction privilégiée → il faut choisir un objectif de grande ouverture numérique)
- un miroir dichroïque et un filtre d'émission qui permettent de sélectionner uniquement la lumière émise par les fluorophores de l'échantillon (le miroir dichroïque réfléchit très bien les radiations excitatrices et très mal les radiations d'émission tandis qu'il transmet très bien les radiations d'émission et très mal les radiations d'excitation et le filtre sélectionner la longueur d'onde de la lumière de fluorescence produite par l'échantillon)

Vidéo : <https://toutestquantique.fr/fluorescent-et-confocal/>



Conclusion : *Perez*

Limitation de la microscopie optique (liée à la longueur d'onde => détails de l'ordre du micron)

Depuis se sont développées d'autres types de microscopies : microscopie électronique (longueur d'onde : $\lambda = h/p$ donner valeur mais résolution limitée par les vibrations mécaniques, 1^{er} en 1937, actuellement grandissement de 500000 facilement obtenu), microscope à effet tunnel que nous verrons en 2^{ème} année (1982, résolution spatiale de 0,1nm soit approximativement la taille d'un atome), microscope à force atomique (1985, prix Nobel en 1986, mesure la force atomique qu'exercent, sur la pointe d'exploration, les atomes situés sur la surface du matériau étudié)