

TP-Cours : Instruments d'optique

A. MARTIN

Sources lumineuses

Miroirs et lentilles

Miroirs

Lentilles

Centrage et éclairage

Projection

Autocollimation

Instruments d'optique

L'oeil

Viseur

Lunette

Lampe spectrale

Lampes spectrales (lampes à décharge)

- ▶ **lampes à décharge** constituées de 2 électrodes placées à l'intérieur d'une ampoule transparente contenant des atomes d'un élément à l'état gaz, souvent Na ou Hg (parfois H ou Cd).
- ▶ **spectre de raies** émis caractéristique de l'élément.



Élément	λ (nm) principales	Couleur
Na	589,0 / 589,6	doublet jaune
Hg	404,7	violet
	435,8	violet-bleu
	546,1	vert
	577,0 / 579,1	doublet jaune



- ▶ ces lampes doivent toujours être alimentées par l'intermédiaire d'un **transformateur spécialement adapté**.
- ▶ n'atteignent leur plein régime qu'après plusieurs minutes de fonctionnement. Eviter de les rallumer tout de suite après extinction.
- ▶ **VARIANTE (grand public) : Lampes fluorescentes** (tube, fluo-compacte) = Lampe à Hg + dépôt fluorescent.

Lumière blanche

Lampe à incandescence : lumière blanche

- ▶ **Source thermique :**

Fonctionnement basé sur le rayonnement électromagnétique spontané d'un corps chauffé à haute température, généralement un filament de tungstène (W).



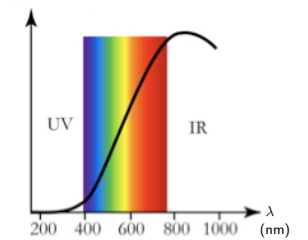
- ▶ **Spectre CONTINU**

couvrant l'ensemble du domaine visible \Rightarrow impression de lumière blanche.

Loi de Wien :

$$\lambda_{\max} \cdot T \approx 3000 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Eclairage spectral



- ▶ le spectre s'étend au-delà du visible : maximum d'émission dans le proche infrarouge \Rightarrow on ne perçoit qu'une partie du rayonnement, on perd beaucoup d'énergie en IR.

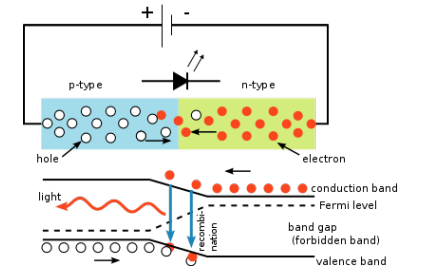
Lampes à LED

- ▶ Ampoule = matrice de LED

- ▶ **LED (Light-Emitting Diode)** : diode (jonction PN de semi-conducteurs) qui émet de la lumière lors du passage du courant en polarisation directe.



- ▶ Des *électrons* de la bande de conduction se recombinent avec des *trous* situés dans la bande de valence, d'énergie plus faible (cf largeur de la bande interdite).

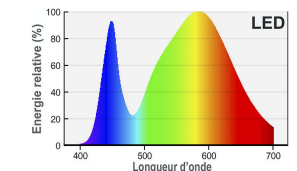


- ▶ **spectre continu** qui dépend des matériaux utilisés.

- ▶ **Avantages** : rendement lumineux, consommation faible, taille réduite, durée de vie...

- ▶ **Inconvénients** : danger car trop de bleu ? prix encore élevé...

- ▶ **Applications** : nombreuses ! une source d'avenir.



Laser

LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)



- ▶ **monochromatique** (émission à "une seule" longueur d'onde).
- ▶ faisceau quasi-parallèle : faible divergence (tache $\approx 1\text{cm}$ à 10m du laser)
- ▶ faible section du faisceau $\approx 1\text{mm}$



— Les faisceaux lasers sont dangereux pour l'oeil. —

En TP :

- ▶ lasers **Hélium-Néon** rouge ($\lambda = 632,8\text{nm}$) de faible puissance lumineuse (qq mW).
- ▶ **Diodes laser** à semi-conducteurs (LED en capsulée dans un guide optique).
(moins encombrants, moins cher, mais faisceau plus divergent à focaliser avec une lentille).

exemple d'utilisation : lecteurs/graveurs CD/DVD, pointeurs laser, télécommunication, mesure de distance ou autre...

Rappel de quelques précautions de manipulation



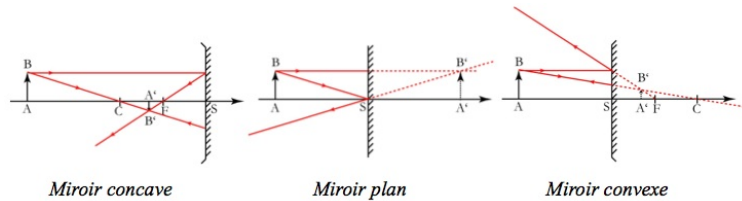
Sources lumineuses :

- ▶ **Eviter de toucher les sources lumineuses** : leur échauffement pourrait vous provoquer des brûlures.
- ▶ **Attention à ne pas prendre de faisceau laser dans les yeux** (attention aux réflexions parasites sur des bijoux par exemple).

Miroirs sphériques

Détermination de la nature du miroir (concave, convexe ou plan) :

Miroir	Concave	Plan	Convexe
Objet lointain	Image renversée Plus petite $-1 < \gamma < 0$	Image identique Droite et de même taille $\gamma = 1$	Image droite Plus petite $0 < \gamma < 1$



Ne jamais mettre ses doigts sur les miroirs !

Lentilles minces

Reconnaissance du caractère CV et DV :

Lentille	Convergente	Divergente
Objet lointain	Image réelle renversée 	Image virtuelle droite
Objet proche	Image virtuelle agrandie (et droite) 	Image virtuelle plus petite (et droite)



Ne jamais mettre ses doigts sur les lentilles !

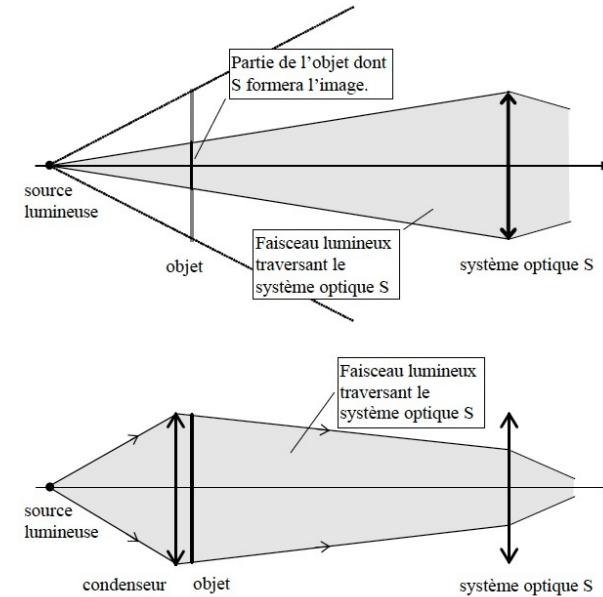
Centrage et éclairage de l'objet

- ▶ Lors de l'installation de tout montage sur un banc d'optique, veiller à régler :
 - ▶ l'**alignement vertical et horizontal** des éléments,
 - ▶ le **centrage du faisceau**.
- ▶ Un objet étendu est correctement éclairé si :
 - ▶ l'objet est **uniformément éclairé**,
 - ▶ **toute la lumière** qui éclaire l'objet traverse le système optique (aucun des éléments du système ne doit diaphragmer le faisceau).

9/22

9/22

Eclairage d'un objet



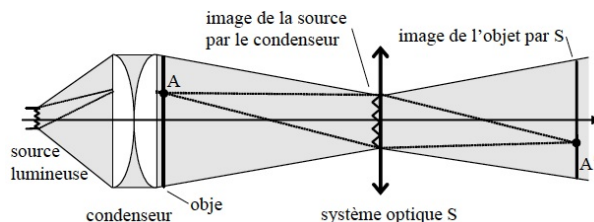
10/22

10/22

Eclairage d'un objet

Les sources lumineuses utilisées sont généralement étendues et non uniformes (filament d'une lampe à incandescence, lampe spectrale...). On réalise un éclairage correct avec ces sources de la façon suivante :

- ▶ Le système optique S et l'objet sont mis en place pour le montage que l'on souhaite réaliser.
- ▶ On place le **condenseur** juste devant l'objet. On forme au moyen du condenseur, l'image de la source de lumière (le filament) sur le système optique S, **en déplaçant la source de lumière**.



Si l'image du filament ne recouvre qu'une **petite partie centrale** de la lentille, les **aberrations** seront plus faibles¹ (*conditions de Gauss*).

1. On aura aussi une **profondeur de champ** plus importante.

11/22

11/22

Projection

- ▶ Principe : objet réel $\xrightarrow{\mathcal{L} \text{ CV}}$ image réelle sur écran.
- ▶ **Profondeur de champ** : L'image observée sur l'écran semble nette pour toute une plage de positions de l'écran. Ceci est lié au pouvoir séparateur de l'oeil (et à la surface de l'écran).
- ▶ Condition pour que la projection soit possible :

$$D_{\text{objet-écran}} > 4f'$$

CSQ : Si la distance objet-écran est contrainte par ailleurs, il faut choisir correctement la lentille de projection.

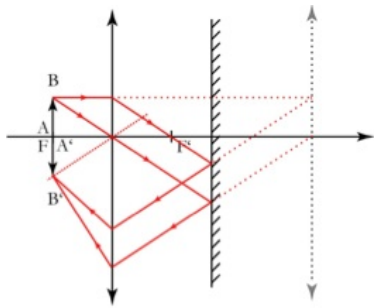
- ▶ L'image qu'on observe est **renversée**.
- ▶ Il y a deux positions possibles pour la lentille mais une seule permet de grandir l'objet.
- ▶ Il peut être nécessaire de diaphragmer la lentille, pour limiter les **aberrations géométriques**. Si le faisceau est diaphragmé en avant (arrière) de la lentille, on observe une **distorsion** en "coussinet" (en "barillet").

12/22

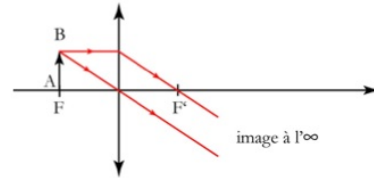
12/22

Autocollimation

- ▶ **DEF** : méthode permettant de positionner l'objet dans le plan focal objet d'une lentille **convergente**, à l'aide d'un miroir plan.
Collimation (cf *colinéaire*) : on produit un faisceau de rayons parallèles.
Auto : le faisceau réfléchi par le miroir plan revient vers l'objet.
- ▶ **Application** : i) Mesure rapide d'une distance focale (approximatif).
ii) Former un objet à l'infini ou un faisceau parallèle (cf *collimateur*).
- ▶ **Méthode** : placer le miroir derrière la lentille (presque parallèle). On modifie la distance objet-lentille jusqu'à obtenir une image nette à côté de l'objet (elle doit être de même taille et renversée ($\gamma = -1$)).



13/22



Rmq : Pour visualiser l'image et l'objet, il est nécessaire d'incliner légèrement le miroir.

Rmq : Cette méthode est indépendante de la distance lentille-miroir.

13 / 22

L'oeil (rappels)

L'observation à travers les instruments d'optique se fait à l'oeil.

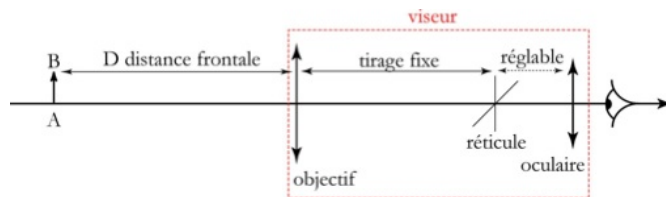
- ▶ **Oeil normal**
 - ▶ punctum proximum (PP) $\approx 25\text{cm}$
 - ▶ punctum remotum (PR) à l'infini
 - ▶ la position de repos est la vision à l'infini
- ▶ **Conséquence** : les **instruments d'optique forment leur dernière image à l'infini** pour des questions de confort visuel
- ▶ **Oeil avec défauts** (myopie, hypermétropie)
 - ▶ PR et PP différents de l'oeil normal
 - ▶ position de repos n'est pas l'infini
- ▶ **Conséquence** : **changer uniquement** le réglage donnant la formation de la dernière image (position de l'oculaire) pour l'adapter à la position de repos.

14/22

14 / 22

Viseur (ou "lunette à frontale fixe")

- ▶ **Constituants** : un **objectif** (du côté de l'objet), un **réticule** (objet réel en forme de croix) et un **oculaire** (côté de l'oeil, effet loupe).



- ▶ **Principe** : Observer un objet à travers le viseur, son image sera vue nette, superposée au réticule, lorsque l'objet sera à une distance D précise, appelée *frontale* (dépendant de la focale de l'objectif).
Rmq : En pratique, il n'est pas nécessaire de connaître précisément la distance D .
- ▶ **Fonction** : permet de **déterminer précisément la position d'une image/objet** (pointé longitudinal), aussi bien pour une image **réelle** que pour une image **virtuelle**.
L'image étant agrandie, on peut aussi **mesurer précisément des grandissements** grâce à la graduation du réticule.

15/22

15 / 22

Viseur

- ▶ **Réglage** : Ajuster la distance {oculaire-réticule} pour voir le réticule net, sans accommodation (réglage à modifier pour chaque utilisateur).
- ▶ **Principe des pointés longitudinaux** :
La mesure d'une distance à l'aide d'un viseur nécessite 2 pointés.
Exemple pour l'étude d'une lentille :

- ▶ Avant de placer la lentille, observer l'**objet net** au viseur \rightarrow relever la **position** x_1 du viseur sur le banc d'optique.
- ▶ Installer la **lentille**, et déplacer le viseur pour voir la lentille nette \rightarrow relever la **position** x_2 du viseur sur le banc d'optique.
- ▶ Déplacer le viseur pour observer l'**image** formée par la lentille \rightarrow relever la **position** x_3 du viseur sur le banc d'optique.
- ▶ En déduire les distances utiles :

$$\overline{OA} = d_{\text{lentille-objet}} = x_1 - x_2$$

$$\overline{OA'} = d_{\text{image-lentille}} = x_3 - x_2$$

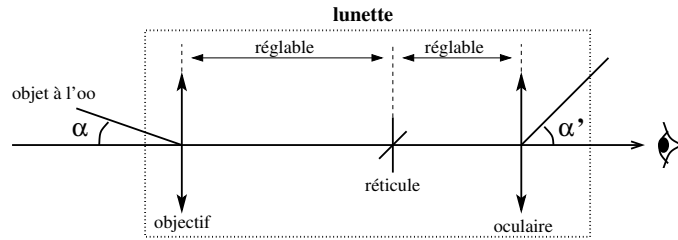
On constate que la distance D n'intervient pas.

16/22

16 / 22

Lunette (afocale)

- ▶ **Constituants** : **objectif + réticule + oculaire** (comme le viseur).



- ▶ **Fonction** : Observer un objet à l'**infini, grossi**.
Mesures de grandissement possibles si le réticule est gradué.
- ▶ **Principe** : Contrairement au viseur, la distance {objectif-réticule} est réglable. L'image sera vue nette, superposée au réticule, lorsque le réticule est situé au plan focal image de l'objectif.
 - ▶ L'image est **inversée**.
 - ▶ Pour un oeil normal, l'image par l'oculaire est située à l'infini, donc le système est **afocal**. Pour un oeil à défaut non corrigé, ce n'est plus le cas.

17/22

17 / 22

Lunette - Réglages

1. **Distance oculaire-réticule** : comme pour le viseur.
On observe à travers l'oculaire en direction d'une zone éclairée, et on règle le tirage de l'oculaire jusqu'à observer une image R' nette du réticule R **sans accommodation**.
Pour être sûr qu'on accommode pas, on déplace rapidement la tête d'avant en arrière. Si l'image devient floue avant de redevenir nette, c'est que l'image n'est pas au P.R.
2. **Distance objectif-réticule (tirage)** : Mise-au-point sur l'infini.
Observer un objet très lointain, régler de façon à **voir nets en même temps l'image ET le réticule**.
A cause de la **profondeur de champ** de l'oeil, on peut voir simultanément nets des objets situés à des distances un peu différentes. Pour éviter cette *erreur de parallaxe*, la technique consiste à hocher la tête de droite à gauche : si l'image et le réticule bougent l'un par rapport à l'autre, c'est qu'ils ne sont pas dans le même plan.

18/22

18 / 22

Lunette - Caractéristiques

- ▶ **Grossissement** : $G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f'_{obj}}{f'_{oc}}$

Définitions (pour un instrument d'optique quelconque) :

- ▶ **Champ** : étendue (angulaire) de l'espace objet visible à travers l'instrument.
- ▶ **Diaphragme de champ** : Diaphragme dont la position sur l'axe optique permet de contraindre le champ.
- ▶ **Lucarne d'entrée (de sortie)** : conjugué du diaphragme de champ dans l'espace objet (image).
- ▶ **Diaphragme d'ouverture** : Diaphragme dont la position sur l'axe optique permet de contraindre la quantité de lumière qui entre dans l'instrument (*luminosité*).
- ▶ **Pupille d'entrée (de sortie)** : conjugué du diaphragme d'ouverture dans l'espace objet (image).
Si la pupille de sortie est réelle, elle constitue le **cercle oculaire** : l'endroit où placer son oeil pour récupérer le maximum de lumière².

2. Si la pupille de l'œil est plus petite que le cercle oculaire, c'est elle qui joue le rôle de pupille de sortie.

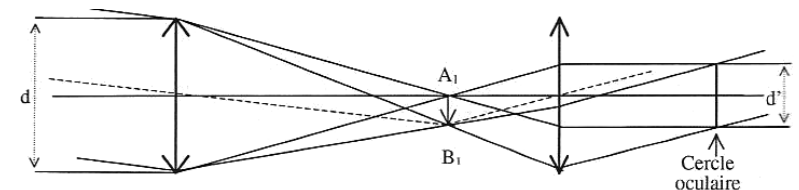
19/22

19 / 22

Lunette - Caractéristiques

Pour la lunette afocale :

- ▶ le diaphragme de champ est situé au niveau de l'oculaire, et confondu avec la lucarne de sortie ;
- ▶ le diaphragme d'ouverture est situé au niveau de l'objectif (sauf si l'oculaire est de diamètre trop petit, ce qui n'est pas le cas en pratique), et confondu avec la pupille d'entrée.
- ▶ La pupille de sortie est située en arrière de l'oculaire, au voisinage de son foyer image. C'est le **cercle oculaire** (cf ci-dessous).



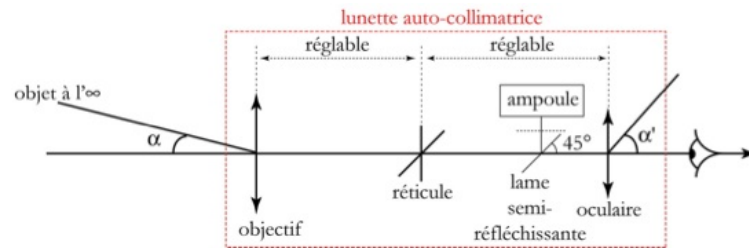
20/22

20 / 22

Lunette autocollimatrice (goniomètre)

- **Fonction** : identique à la lunette. Utilisation sur le goniomètre par exemple.
- **Principe** : identique à la lunette, sauf qu'on ne peut la déplacer (solidaire du goniomètre). Elle est donc munie
 - d'une source de lumière interne (source 6V, d'axe perpendiculaire à l'axe optique),
 - d'une lame semi-réfléchissante amovible à 45° de l'axe optique.

On peut ainsi éclairer le réticule et observer à travers la lunette en même temps.

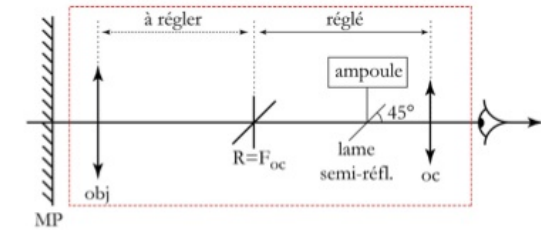


21/22

21 / 22

Lunette autocollimatrice (goniomètre)

- **Intérêt** : Le réglage de l'objectif peut se faire par **autocollimation** à l'aide d'un miroir plan, ce qui évite de déplacer la lunette. La lumière de l'ampoule emprunte le trajet suivant : lame s-r → obj. → MP → obj. → lame s-r → oculaire → œil.



- **Réglage de l'objectif** :

1. Incliner légèrement le MP : on observe dans la lunette un second disque lumineux dû à la réflexion sur le MP.
2. Régler le *tirage* de l'objectif jusqu'à ce que le réticule et son image par le système (MP+objectif) soient nettes (elles sont alors a priori dans le même plan).
3. Vérifier qu'il n'y a pas d'erreur de parallaxe.

22/22

22 / 22