

TP : Caractérisation d'un microscope.

Bien que supplanté par des techniques d'imagerie beaucoup plus précises comme celles qui utilisent le microscope électronique - dans lequel le faisceau lumineux traditionnel d'éclairage de l'objet à étudier est remplacé par un faisceau d'électrons -, le microscope à force atomique ou encore le microscope à effet tunnel, le microscope optique reste l'instrument incontournable permettant l'accès à l'échelle du micron ou de la dizaine de microns. Inventé vraisemblablement au XVII^e siècle (GALILÉE - JANSSEN), le microscope a beaucoup évolué depuis sur le plan technique mais son principe reste toujours le même. Il peut être modélisé par deux lentilles convergentes. L'objectif de courte focale - inférieure au centimètre - qui travaille en dehors des conditions de GAUSS forme une image réelle de l'objet à observer. Une seconde lentille convergente - l'oculaire - de focale de l'ordre du centimètre, forme une image à l'infini de l'image fournie par l'objectif. Ainsi l'œil n'accommode pas et observe sans fatigue sous un angle nettement plus élevé l'objet qu'il l'aurait fait sans instrument.

1 Objectifs

Dans ce TP, nous chercherons à mesurer le grandissement transversal de l'objectif. Nous en profiterons pour mesurer la largeur d'une fente de quelques dizaines de microns. Nous déterminerons ensuite le grossissement commercial du microscope ainsi que sa puissance. Une attention sera portée sur la détermination des incertitudes liées aux mesures de ces différentes grandeurs.

2 Matériel

Le microscope utilisé correspond à celui de la photographie de la figure 1.



FIGURE 1 – Vue d'ensemble du microscope

Sur les photographies de la figure 2, on peut voir les différents éléments amovibles du microscope. La lame de verre est le support d'un microfilm. Ce microfilm possède une échelle graduée de 100 divisions séparées chacune de $0,01 \text{ mm} = 10 \mu\text{m}$. La longueur totale de l'échelle sur le microfilm est donc de 1 mm, des lames plus récentes présentent une échelle de 2 mm avec 200 divisions. Cela ne change rien à la distance entre deux divisions

puisque c'est toujours $10\text{ }\mu\text{m}$. La lampe d'éclairage de l'objet possède sur un côté un verre violacé qui permet d'obtenir un éclairage relativement uniforme de l'objet. On dispose aussi de deux oculaires repérés par leur grossissement commercial $\times 10$ ou $\times 12$. L'oculaire $\times 10$ possède une échelle graduée de 100 divisions séparées chacune de $0,1\text{ mm}$. La longueur totale de cette échelle est donc de 1 cm . L'autre oculaire est qualifié de simple car il ne possède pas d'échelle graduée. Enfin le dispositif appelé chambre claire permettra d'observer en même temps un objet à l'œil nu un objet au punctum proximum (25 cm) et un objet à travers le microscope. On peut ainsi effectuer une mesure du grossissement commercial.

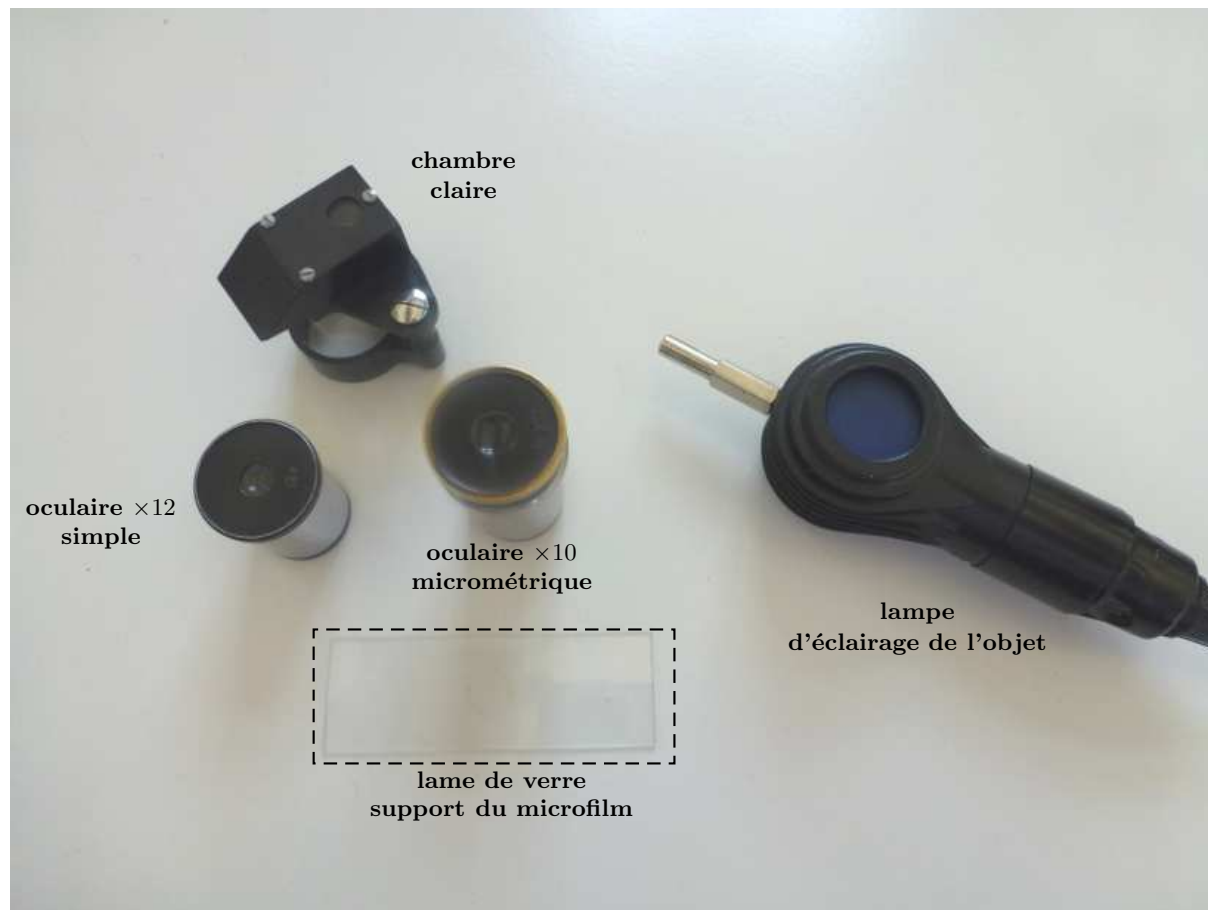


FIGURE 2 – Éléments amovibles du microscope

La chambre claire se couple sur l'oculaire simple comme on peut le voir sur les photographies de la figure 3.



FIGURE 3 – La chambre claire montée sur un oculaire et son principe

Sur les deux photographies de la figure 4, on peut voir le microscope utilisé dans une configuration in-

habituelle. Ces deux configurations vont permettre de mesurer le grossissement commercial et la puissance du microscope. Sur la photographie de gauche, on peut voir le microscope surmonté de la chambre claire ainsi qu'une feuille de papier millimétrée jouant le rôle de l'objet situé à $D_m = 25$ cm, c'est-à-dire à ce qui est admis communément comme punctum proximum pour un œil normal. On pourra mesurer le grossissement commercial. Sur la photographie de droite, on a renversé le microscope en faisant pivoter la crosse qui le tient autour de son axe. On éclaire un objet de taille connue avec une source puissante de lumière blanche, on observe le faisceau lumineux qui sort de l'oculaire sur un verre dépoli. On mesure ainsi la puissance du microscope.



FIGURE 4 – Microscope et chambre claire - Microscope placé horizontalement

3 Aspects théoriques

3.1 Tracés des rayons lumineux

On se place uniquement dans le cas d'un réglage du microscope tel que l'œil observe sans fatigue. Cela signifie que l'image de l'objet donnée par l'objectif se forme dans le plan focal objet de l'oculaire.

1. En effectuant un schéma comme celui de la figure 5, faire un tracé soigneux de plusieurs rayons lumineux (au moins trois) issus du point B . L'objet AB donne par la lentille \mathcal{L}_1 une image que l'on notera A_1B_1 placée dans le plan focal objet de \mathcal{L}_2 . L'image définitive $A'B'$ se situe alors à l'infini. On note θ' l'angle que font les rayons lumineux extrêmes entre eux.

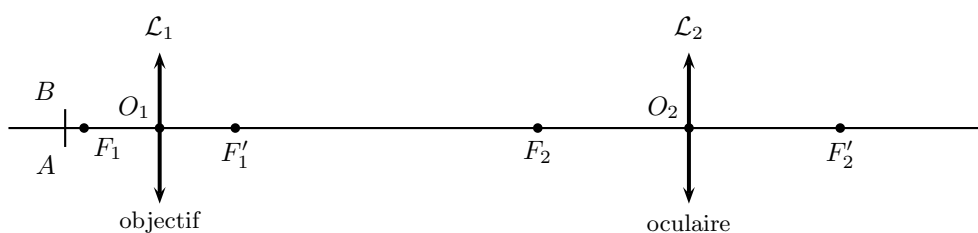


FIGURE 5 – Modèle du microscope

2. L'objectif d'un microscope possède une très petite taille transversale. Le tracé de rayons lumineux que nous allons effectuer maintenant ne rend pas bien compte de la situation mais le principe reste valable. Reprendre une construction identique sur le plan de l'échelle à la précédente. Effectuer un tracé de rayons lumineux en considérant maintenant la lentille \mathcal{L}_1 qui constitue l'objectif du microscope comme un objet pour la lentille \mathcal{L}_2 modélisant l'oculaire. Constaté que l'image de \mathcal{L}_1 par \mathcal{L}_2 est située très peu au-delà du foyer image de l'oculaire. Cette situation correspond tout à fait à la situation réelle. L'image de l'objectif \mathcal{L}_1 par l'oculaire est appelé cercle oculaire. Que pensez-vous du diamètre du cercle oculaire ?

3.2 Cercle oculaire

3. Effectuer une troisième construction à la même échelle que les deux premières. Sur cette construction, reprendre le tracé du cercle oculaire et montrer que tous les rayons lumineux issus de l'objet AB et formant

l'image $A'B'$ à l'infini passent, tous, par le cercle oculaire.

Ce cercle oculaire est un lieu privilégié pour l'observation à l'œil de l'image $A'B'$. Comme vous le constaterez expérimentalement sa taille est extrêmement petite, ainsi en plaçant la pupille de notre œil à l'endroit du cercle oculaire, on fait en quelque sorte le plein de rayons lumineux ! Lorsque l'on vient placer son œil contre la sortie de l'oculaire, les conditions d'observations optimales sont réunies. Sur le schéma de la figure 6, on a représenté une situation plus proche de la réalité que celle que l'on pourrait imaginer à partir des constructions précédentes. La lentille \mathcal{L}_1 est de diamètre très faible et de focale de l'ordre du millimètre. On place un objet AB symétriquement par rapport à l'axe optique de taille très petite. La distance qui sépare \mathcal{L}_1 de \mathcal{L}_2 est de l'ordre de la vingtaine de centimètres, sa focale de l'ordre du centimètre. Le cercle oculaire se résume quasiment à un point à notre échelle. On ne représente que deux rayons extrêmes émergents de AB au lieu de faisceaux de rayons parallèles. L'angle entre ces rayons est évidemment l'angle θ' que l'on a fait apparaître dans les constructions précédentes. Pour rappel : dans ces constructions, le point A envoie à l'infini un faisceau de rayons parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique d'un angle $-\theta'/2$. Pour le point B , on obtient un faisceau de rayons parallèles mais faisant un angle $+\theta'/2$ par rapport à l'axe optique. On dit que l'on voit l'objet AB sous l'angle θ' à travers le microscope. Sur le schéma de la figure 6, il n'a pas été possible d'effectuer le tracé réel des rayons lumineux. Le tracé formé de points ne correspond pas à des rayons mais sert à simplement montrer que les rayons lumineux issus de l'objet AB traversent \mathcal{L}_1 puis \mathcal{L}_2 . En sortie de \mathcal{L}_2 , le tracé correspond à l'enveloppe du faisceau lumineux matérialisée par les rayons extrêmes passant dans le cercle oculaire quasi ponctuel.

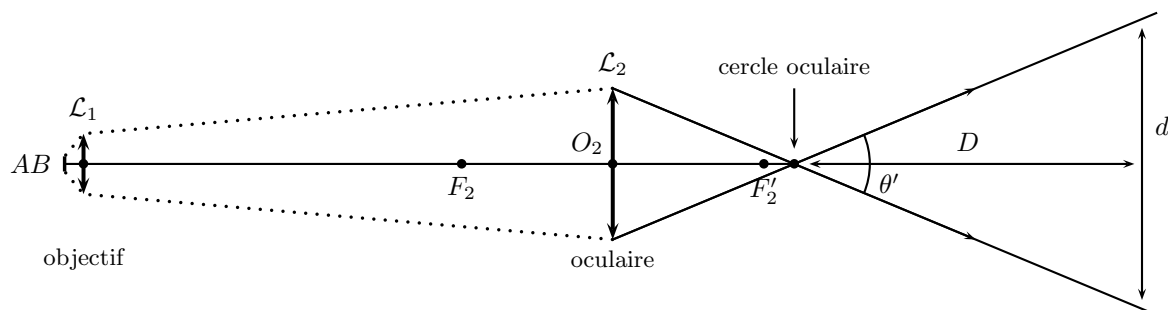


FIGURE 6 – Cercle oculaire et limite des rayons émergents

4. Exprimer la distance d en fonction de D et θ' .

3.3 Les relations du microscope

En cas de besoin, on notera $f_1 > 0$ la distance focale de l'objectif et $f_2 > 0$ celle de l'oculaire.

5. Rappeler la définition du grandissement transversal γ_1 de l'objectif du microscope ainsi que la relation de conjugaison associée à ce grandissement.

Le grossissement d'un système optique est défini comme le rapport de l'angle de sortie d'un rayon lumineux par l'angle que ce rayon lumineux possédait à l'entrée du système optique. Ces deux angles sont repérés par rapport à l'axe optique. Ce grossissement - quelque fois appelé grandissement angulaire - ne doit pas être confondu avec une caractéristique très fréquemment donnée pour un microscope à savoir son grossissement commercial que l'on notera G_{mic} . Celui-ci est aussi défini comme le rapport de deux angles à savoir l'angle θ' sous lequel on voit l'objet à travers le microscope et l'angle θ_0 qui serait celui sous lequel un œil normal le verrait à la distance couramment admise comme étant le punctum proximum à savoir $\delta_m = 25$ cm. Cette définition de l'angle θ_0 est proposée au conditionnel car il est bien difficile, pour un œil normal, de voir un objet de $10 \mu\text{m}$ situé à 25 cm. Le grossissement commercial est donc :

$$G_{mic} = \frac{\theta'}{\theta_0}$$

6. Montrer que le grossissement commercial du microscope s'exprime selon la relation :

$$G_{mic} = \frac{\delta_m}{AB} \theta'$$

7. En déduire que si l'on note G_{ocu} le grossissement commercial de l'oculaire - toujours utilisé dans les conditions optimales définies précédemment - le grossissement commercial du microscope est relié à celui de l'oculaire par la relation :

$$G_{mic} = G_{ocu} |\gamma_1|$$

La puissance d'un microscope est définie par le rapport de l'angle sous lequel on voit l'objet AB à travers l'instrument sur la taille AB de cet objet :

$$P = \frac{\theta'}{AB}$$

Il est habituel d'exprimer cette puissance en dioptries.

8. Justifier l'unité de la puissance et montrer les relations suivantes si on travaille dans l'unité légale des dioptries que l'on rappellera :

$$P = \frac{G_{mic}}{\delta_m} = 4G_{mic}$$

4 Expériences

4.1 Consignes

Lors de vos activités expérimentales en TP, vous devrez systématiquement :

- * Élaborer un protocole et m'appeler pour que je le valide.
- * Mettre en œuvre ce protocole et m'appeler pour que j'évalue vos activités.
- * Communiquer les résultats dans le compte rendu sous forme de descriptions, de tableaux de mesures, de graphiques...
- * Valider les résultats en comparant les développements théoriques et les résultats expérimentaux en ayant le souci permanent de présenter de façon rigoureuse les résultats avec leur incertitude.
- * Remettre en fin de séance votre compte-rendu.

Vous serez évalué sur l'ensemble de ces exigences.

4.2 Grandissement transversal de l'objectif

9. On utilisera l'oculaire possédant de grossissement commercial $\times 10$ possédant une échelle graduée. Commencer par régler à sa vue cet oculaire pour voir sans effort l'échelle qu'il possède.

10. En travaillant avec l'objectif de grandissement intermédiaire, mesurer le grandissement réel γ_1 tel qu'il a été défini dans la partie théorique. On utilisera comme objet la lame de verre portant le microfilm gradué.

11. Effectuer le calcul de l'incertitude associée à la mesure de γ_1 grâce à un programme *Python* basé sur la méthode de Monte Carlo. On commencera par proposer une incertitude-type pour chacune des deux quantités intervenant dans la mesure de γ_1 . Proposer le résultat sous la forme $\gamma_1 = \gamma_{1,mes} \pm u_{\gamma_1}$. Fournir tous les éléments permettant de comprendre le résultat du calcul d'incertitude.

12. Commenter le résultat obtenu.

13. Effectuer la mesure de la largeur d'une fente fine grâce au microscope.

4.3 Grossissement commercial du microscope

La difficulté pour effectuer une mesure directe de ce grossissement est de pouvoir observer de façon traditionnelle à travers le microscope et, en même temps, de pouvoir observer un objet de dimension connue à la distance $\delta_m = 25$ cm. Comme vous l'avez compris, c'est la chambre claire que l'on montera sur l'oculaire simple $\times 12$ qui nous permettra de le faire. Toutefois, en fonction de votre vue, il vous sera plus ou moins aisé de mener cette expérience à son terme.

En ce qui me concerne, ma vue ne permet pas de faire la mise au point à la distance δ_m . Je suis obligé de garder mes lunettes. La conséquence est immédiate, mon œil ne peut plus se placer au niveau du cercle oculaire et je vois relativement mal à travers le microscope. Je suis obligé de rechercher une situation de compromis entre la netteté des deux images. Toutefois si les intensités des deux images observées sont du même ordre, la mise au point sur les deux images sera facilitée.

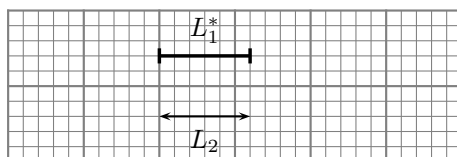


FIGURE 7 – Superposition des deux images grâce à la chambre claire

L'objectif est d'obtenir la superposition de l'image du papier millimétré à travers la chambre claire ou bien d'une distance bien connue et celle d'une portion ou de la totalité de l'échelle micrométrique placée devant l'objectif du microscope, voir le schéma de la figure 7.

On note L_1 la longueur de l'échelle micrométrique prise en compte et L_1^* la longueur perçue à travers le microscope. On compare deux longueurs identiques L_1^* qui est la longueur de l'échelle micrométrique vue à travers l'instrument et la longueur L_2 de papier millimétré placé à $\delta_m = 25$ cm. Sur la figure, on voit que $L_1^* = L_2 = 1,2$ cm si l'on utilise du papier millimétré classique. Si l'on note $\theta_{\text{œil nu}}$ l'angle sous lequel on voit L_2 au *punctum proximum*, on a la relation $L_2 = \theta_{\text{œil nu}} \delta_m$. L'angle θ' sous lequel on voit la longueur L_1 de l'échelle micrométrique à travers l'instrument - ce qui correspond à l'objet AB de l'étude théorique - est donné par la formule de la question 6. $\theta' = G_{\text{mic}} \frac{AB}{\delta_m}$. Dans notre cas, on a $\theta' = G_{\text{mic}} \frac{L_1}{\delta_m}$. Mais comme les deux distances L_2 et L_1^* sont les mêmes, les angles sont les mêmes : $\theta' = \theta_{\text{œil nu}}$. On a donc $\delta_m \theta' = G_{\text{mic}} L_1$ et $\theta' \delta_m = L_2$. On peut donc conclure que $L_2 = G_{\text{mic}} L_1$ et par conséquent :

$$G_{\text{mic}} = \frac{L_2}{L_1}$$

Pour conclure, si vous avez des difficultés à faire la mise au point à $\delta_m = 25$ cm avec le papier millimétré, vous pouvez choisir d'observer un autre objet de taille connue et plus contrasté. L'objet observé à travers le microscope sera toujours le microfilm gradué.

14. Effectuer la mesure du grossissement commercial du microscope avec comme objectif celui indiqué $\times 10$ et l'oculaire simple $\times 12$ (surmonté de la chambre claire).

15. Comparer votre résultat au grossissement que les deux indications précédentes laissaient prévoir.

4.4 Puissance du microscope

On travaille toujours avec l'oculaire simple $\times 12$. La détermination de la puissance P du microscope impose de connaître la taille AB d'un objet observé et l'angle θ' sous lequel il est observé à travers l'instrument. On reprendra comme objet la fente fine dont on a déterminé la largeur précédemment. Pour la mesure de l'angle θ' , on utilisera le microscope dans une position plus qu'inhabituelle ! Il sera utilisé à l'horizontale et, comme il est nécessaire d'avoir une très forte luminosité, on utilise la source de lumière blanche assez puissante. Les observations seront effectuées sur un écran dépoli placé en sortie du dispositif.

16. Placer le microscope à l'horizontal et l'éclairer avec la source puissante de lumière blanche. En sortie, déplacer l'écran dépoli jusqu'à trouver la position du cercle oculaire. Il a été indiqué dans l'étude théorique que le cercle oculaire était quasi ponctuel. Qu'en pensez-vous ?

17. En vous inspirant de ce qui a été présenté dans la partie théorique, mesurer la puissance du microscope.

18. Effectuer un calcul traditionnel - à la main - de l'incertitude sur la mesure de la puissance du microscope. Exprimer le résultat de la mesure avec son incertitude. La valeur trouvée correspond-elle à ce que l'on pouvait prévoir ?