

TP Pince optique

I. Consignes de sécurité	1
II. Principe de fonctionnement	1
III. Montage à pince optique.....	2
III.1 Microscope Optique	3
III.2 Caméra CCD	3
III.3 Laser Infrarouge	4
IV Manipulation	4
IV.1 Découverte du microscope optique.....	4
IV.2 Caractérisation du piège à pinces optiques	4
IV.2.1 Mesure de la vitesse de l'écoulement du liquide	4
IV.2.2 Calcul de la force de frottement.....	5
IV.2.3 Calibration de la force de piégeage en fonction de la puissance IR	5
IV.3 Protocole de réglage du montage à pince optique	5
Annexes	7
1 Manuel d'utilisation du pousse-seringue	7
1.1 Chargement de d'une seringue.....	7
1.2 Mise en marche du pousse seringue	7
1.3 Remarques générales.....	8
2. Manuel d'utilisation du laser Infrarouge	8
2.1 Présentation de la façade de l'appareil.....	8
2.2. Mode d'emploi	8

Le but de ce TP est de comprendre le principe de fonctionnement d'une pince optique. Pour ce faire, vous allez observer des objets de taille microscopique, les manipuler à l'aide d'une pince optique. Vous allez aussi mesurer des forces exercées sur ces micro-objets à l'aide d'une courbe de calibration que vous allez établir. La calibration de la force de piégeage s'effectue en mesurant les forces de frottement d'un micro-objet dans un fluide à faible vitesse de circulation.

I. Consignes de sécurité

A. Le laser infrarouge utilisé dans ce TP est dangereux du fait de sa forte puissance (1 W en puissance continue) et de sa longueur d'onde invisible. Le port des lunettes de protection est obligatoire dès que vous allumez ce laser.

B. Ne jamais observer l'échantillon dans la binoculaire du microscope lorsque le laser infrarouge est en fonctionnement. Utiliser uniquement la position caméra comme mode d'observation.

C. Ne jamais changer l'objectif de microscope lorsque le laser infrarouge est en fonctionnement. Vous risquez d'endommager définitivement l'objectif de microscope.

II. Principe de fonctionnement

Lorsqu'un faisceau laser gaussien est fortement focalisé, il crée une zone de piégeage autour du point de focalisation du faisceau (cf Figure 1). Cette zone de piégeage permet d'exercer une force sur un micro-objet et l'attire vers le centre du piège. Le principe de l'opération d'une pince optique peut être expliqué par le transfert de la quantité de mouvement associé au changement de la direction de la lumière à l'interface d'un micro-objet diélectrique. Nous savons que la lumière (photon) possède de la quantité de mouvement qui est proportionnelle à son énergie dans la direction de propagation.

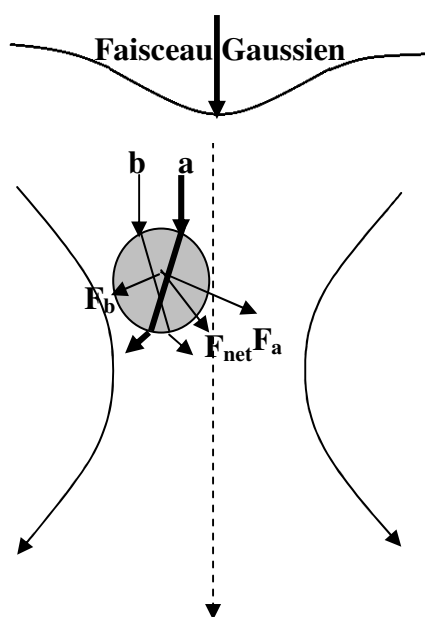


Figure 1 Schéma du principe de fonctionnement d'une pince optique

La réflexion et la réfraction de la lumière à l'interface changent la quantité de mouvement de la lumière. Si elle varie de Δp , la loi de conservation de quantité de mouvement stipule qu'un micro-objet en diélectrique doit subir une variation opposée $-\Delta p$. La force résultante exercée sur le micro-objet est juste le changement de cette quantité de mouvement par seconde.

Une compréhension qualitative des forces de piégeage exercées sur une sphère diélectrique immergée dans un liquide de l'indice de réfraction inférieur peut être obtenue en considérant deux rayons parallèles *a* et *b* d'un faisceau à gradient d'intensité. Si les deux rayons *a* et *b* ont la même intensité, la force nette exercée sur la microsphère est orientée dans la direction de propagation du faisceau (force diffusive). Si l'intensité du rayon *a* est plus grande que celle du rayon *b*, la force nette comporte, en plus d'une composante axiale diffusive, une composante transverse orientée vers le maximum d'intensité et proportionnelle au gradient d'intensité. Cette composante transverse tend à piéger la microsphère vers l'axe du faisceau où l'intensité est au maximum. Lorsque le faisceau est fortement focalisé, il existe un maximum d'intensité axial dans le plan focal. La force en gradient présente donc aussi une composante axiale qui rapproche la microsphère vers le plan focal. La position d'équilibre de la microsphère correspond donc au point où la force en gradient compense la force diffusive et les forces externes telle que la gravité.

III. Montage à pince optique

Le montage est composé de trois blocs : un microscope optique, un laser infrarouge (IR) et une caméra CCD.

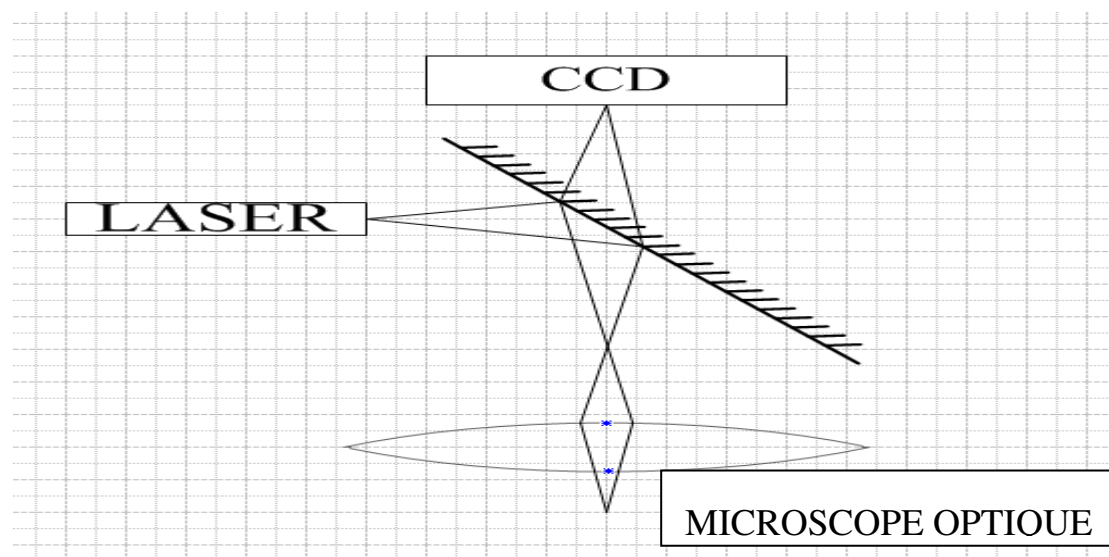


Figure 2. Schéma du montage expérimental

Le laser infrarouge est réfléchi par un miroir dichroïque et renvoyé verticalement dans le

microscope optique. Le faisceau est focalisé par l'objectif du microscope sur un échantillon déposé sur une lame de microscope ou contenu dans un micro capillaire. Le débit de circulation dans le capillaire est contrôlé par un pousse-seringue de précision.

Lorsque le montage à pince optique est bien réglé, la zone du piégeage se situe à l'intérieur du capillaire. Une caméra CCD installée au-dessus de la colonne du microscope permet d'observer l'effet du piégeage.

III.1 Microscope Optique

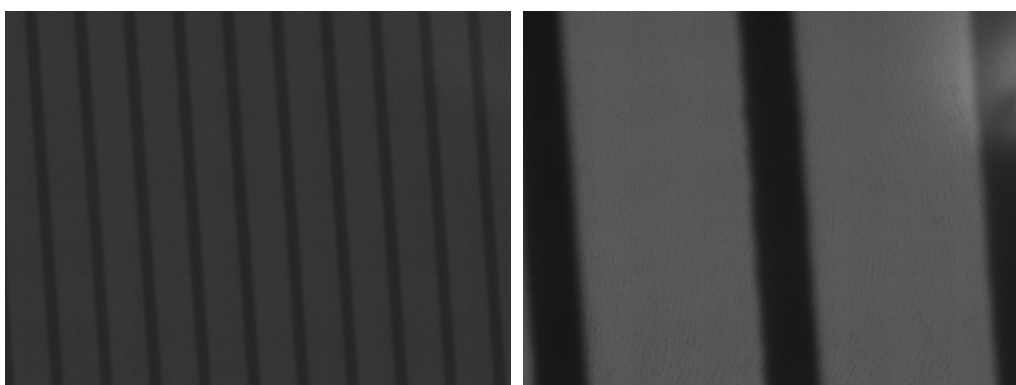
Le microscope utilisé dans ce TP est un model Zeiss Axiostar. Deux objectifs de microscope avec un grandissement de 20 et de 100 sont disponibles. Pour l'objectif x100, le milieu d'immersion est l'huile à qualité optique.

Le microscope est un instrument optique de précision et par conséquent fragile. Il est indispensable de le manipuler avec une extrême précaution.

III.2 Caméra CCD

Dans ce TP, vous devez caractériser le champ de la caméra CCD et mesurer la vitesse de circulation du liquide afin d'étalonner le piège à pince optique. La caractérisation de la caméra permet d'établir une relation entre la distance affichée sur l'écran de l'ordinateur et la distance réellement parcourue par une particule.

Les deux figures ci-dessous présentent les images prises par un objectif de grandissement de 20 (image de gauche) et un objectif de grandissement de 100 (image de droite). Ces images ont été prises en utilisant une lame de microscopie gravée des traits de calibration séparés d'une distance de 0,01 mm.



Champ avec un objectif X20

Champ avec un objectif X100

Figure 3 Champs de vision de la caméra CCD

Pour un objectif X20, la largeur horizontale du champ de vision contient 10 traits de 0,01mm, soit une distance totale de 0,1 mm = 100 μ m.

Pour un objectif de X100, la largeur horizontale contient 2,2 périodes de 0,01mm, soit une distance totale de 0,022 mm = 22 μ m.

III.3 Laser Infrarouge

Le laser que vous utilisez est un laser infrarouge fibre. Il émet une puissance maximale en continue de 1,06 W à 1060nm.

Ce laser est dangereux du fait de sa forte puissance (1 W en continue) et sa longueur d'onde invisible. Le port des lunettes de protection est obligatoire dès que vous mettez en marche ce laser.

IV Manipulation

IV.1 Découverte du microscope optique

Préparer une suspension de cellules de levure fraîche (produit Carrefour) dans un verre d'eau. Déposer une petite goutte d'échantillon avec une spatule sur une lame de microscope. Couvrir l'échantillon avec une lamelle couvre-objet.

Observer l'échantillon avec l'objectif x 20. Enregistrer une image.

Changer l'objectif en grandissement x 100 qui fonctionne à immersion dans l'huile. Pour ce faire, on dépose une goutte d'huile optique sur la lamelle couvre-objet. Faire la mise au point et enregistrer une image.

IV.2 Caractérisation du piège à pinces optiques

IV.2.1 Mesure de la vitesse de l'écoulement du liquide

Le mouvement d'une cellule dans l'eau est présenté ci-dessous.

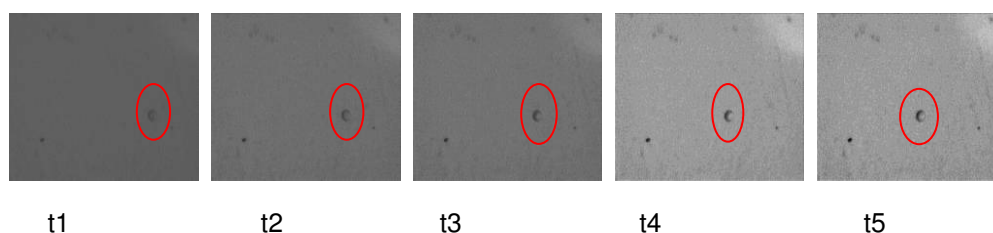


Figure 4 Le mouvement d'une bille dans un capillaire à un débit donné

Etablir la relation entre le débit de la pousse seringue et la vitesse de circulation de liquide dans le capillaire.

Le liquide circule dans le micro capillaire de manière inhomogène en fonction de la profondeur. Il circule beaucoup plus rapidement au centre qu'au bord. Caractériser le champ de vitesse.

IV.2.2 Calcul de la force de frottement

Le nombre de Reynolds Re représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. On le définit de la manière suivante :

$$Re = \frac{V L \rho}{\gamma}$$

avec

V - vitesse caractéristique du fluide [m/s]

L - dimension caractéristique [m]

ρ - masse volumique du fluide [kg/m³]

γ - viscosité dynamique du fluide [Pascal·s ou poiseuille PI]

Faire une estimation numérique du nombre de Reynolds de votre system.

Lorsqu'un objet sphérique circule dans un fluide à faible nombre de Reynolds, il subit une force de frottement décrite par la Formule de Stokes :

$$F = -6\pi R \gamma V$$

V : Vitesse du fluide [m/s]

R : rayon de la sphère [m]

γ : Viscosité dynamique du fluide [Pascal.s].

La viscosité de l'eau est $1.005 \cdot 10^{-3}$ Pa.s à 20°C.

Lorsque la bille est piégée, la force de rappel de la pince optique est égale à la force de frottement. Si l'on augmente la vitesse du liquide, la force de frottement augmente, ce qui conduit à une augmentation de la force de rappel proportionnelle à $F = -kx$, où x est le déplacement de la position de la bille par rapport à sa position d'équilibre.

Pour une puissance laser donnée, déterminer le débit maximal permettant le piégeage d'un objet. Mesurer la vitesse correspondante. Calculer la force de frottement correspondante. Commenter.

IV.2.3 Calibration de la force de piégeage en fonction de la puissance IR

Pour chaque puissance IR appliquée sur une bille, mesurer la force de piégeage (=la force de frottement). Tracer la force de puissance en fonction de la puissance IR. Commenter.

IV.3 Protocole de réglage du montage à pince optique

- Régler le laser rouge d'alignement dans l'axe optique du microscope sans objectif à l'aide d'une feuille de papier. Pour cette partie, on oriente le tube laser avec les quatre vis afin d'avoir le laser rouge centré sur la tache de la lampe halogène projetée sur un papier. Mettre le mode d'observation en position CCD (un bouton sur le microscope est dédié à cet effet).
On doit enlever le filtre IR devant la caméra CCD afin de pouvoir visualiser la tache de focalisation du laser rouge.
Positionner le laser rouge dans le centre du champ de la caméra CCD avec un objectif de microscope x20 et une lame de microscope. Il faut ensuite ajuster la manette de

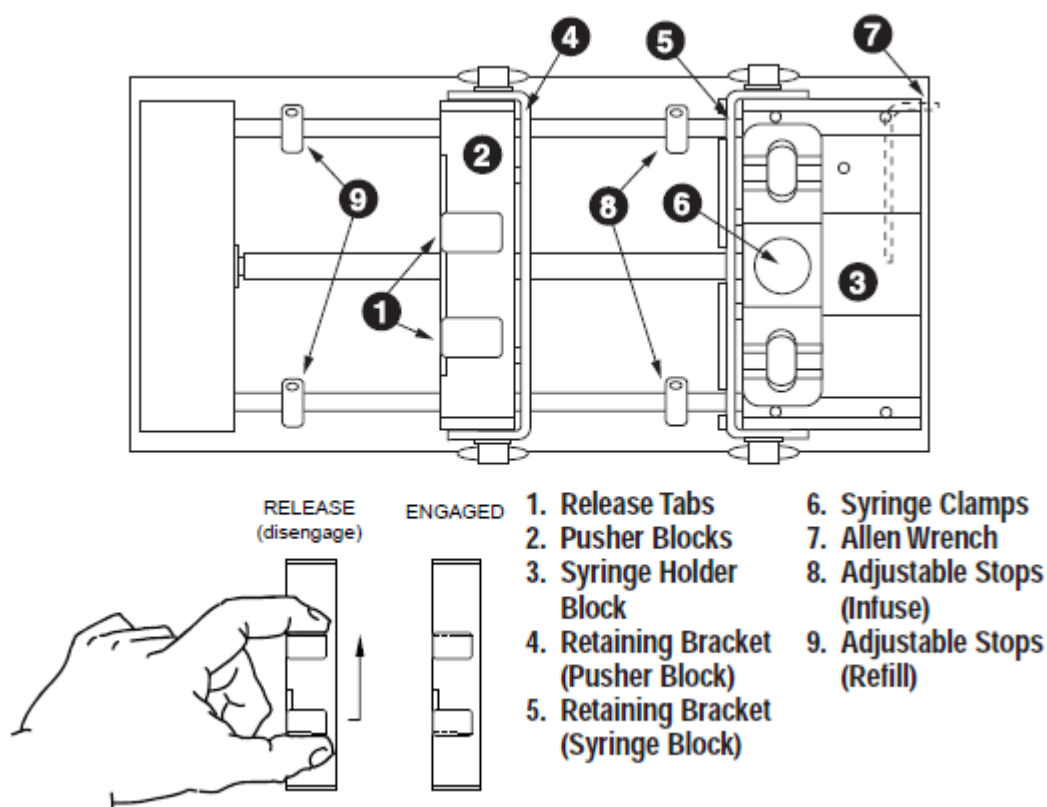
focalisation de microscope pour observer la tache réfléchiée par la lame de microscopie. On ajuste les quatre vis maintenant le tube du laser pour que tache de réflexion soit au centre du champ de vision de la caméra CCD

- Une fois la tache de focalisation centrée sur le champ de vision de la caméra. Placer l'échantillon à observer. Passer à l'objectif x100, normalement, on peut voir directement l'effet de piégeage au voisinage du point de la focalisation du laser rouge.

Annexes

1 Manuel d'utilisation du pousse-seringue

1.1 Chargement de d'une seringue



1. Pincer les release-tabs(1) l'un vers l'autre et déplacer le pusher—block(2) à gauche. Laisser un espace suffisant pour la seringue.
2. Dévisser la syringe clamp(6) et insérer le seringue entre le pusher—block(2) et le syringe holder block(3).
3. Pousser le release tab(1) vers la droite pour qu'il touche la seringue et fixer la syringe holder block(3). Attention, il faut que la syringe holder block(3) touche le centre de la seringue, et que la seringue soit bien horizontale.

1.2 Mise en marche du pousse seringue

Appuyer sur la touche RUN / STOP pour démarrer la pompe lorsqu'elle est arrêtée et faire l'inverse lorsqu'elle est lancée.

1. Pour changer le débit, taper sur la touche "SET" puis sur la touche "Infuse rate", insérer le débit désiré et taper sur la touche "enter". Cela permet de modifier le débit pendant la manipulation.

1.3 Remarques générales

1. Pour ce TP, l'unité de débit doit être en ul/min ou en ml/hr. Ne pas utiliser un débit trop élevé (plus que 50ul/min), cela peut casser la seringue.
2. La seringue doit être positionnée horizontalement, vérifier bien cela avant le lancement de pompe.

2. Manuel d'utilisation du laser Infrarouge

2.1 Présentation de la façade de l'appareil

1. Interrupteur principal avec la clé
Contrôleur alimentation électrique.
2. Contrôleur de la puissance et pompe (bouton cylindrique)
Définir le courant de pompe de la diode et la puissance du laser IR.
3. Interrupteur du laser rouge (bouton vert)
Lancer/arrêter le guide laser en appuyant pendant plusieurs secondes.
4. Interrupteur du laser IR (bouton rouge)
Lancer/arrêter le laser IR en appuyant.
5. Indicateur
Laser IR est en marche quand la LED est allumée.
6. L'écran de contrôle
Affichage des paramètres du laser (puissance IR de sortie, courant de pompe, température, etc).

2.2. Mode d'emploi

1. Allumer alimentation
Tourner la clé jusqu'à la position "ON" pour mettre en marche l'alimentation du laser.
2. Allumer le Laser rouge de l'alignement
Appuyer sur le bouton "MODE" et le maintenir jusqu'au moment où l'écran de contrôle montre "Red Laser = ON"
3. Allumer le laser IR
Appuyer sur le bouton "EMISSION". L'indicateur doit être allumé, après quelques secondes (autour de 2 secondes), le laser IR est en marche.
Ajuster la puissance du laser avec le bouton cylindrique.
4. Éteindre le laser

Avant d'éteindre le laser IR, il faut réduire la puissance laser IR à zéro.

Respecter impérativement l'ordre suivant :

1. Réduire la puissance à zéro en tourner le bouton cylindrique.
2. Éteindre le laser IR en appuyant sur le bouton "EMISSION".
3. Tourner la clé pour éteindre l'alimentation.