Le microscope à projection laser:
un indispensable pour une fête de la science réussie !

Fabrice P Cordelières

Bordeaux Imaging Center, UMS 3420 CNRS-Université de Bordeaux-US4 INSERM,
Pôle d'imagerie photonique, Bordeaux F-33000, France

@fab_cordelieres
@BIC_Bordeaux

Résumé

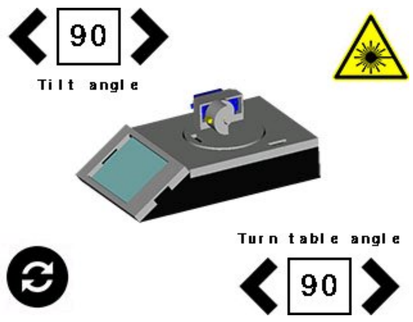
Suffit-il de voir en plus grand pour voir mieux ?
Un microscope n'est-il qu'un appareil permettant d'observer en plus gros des objets à peine visibles ?

Voici deux interrogations dignes d'une épreuve de philosophie posée à de futurs bacheliers. Pour peu qu'ils soient férus de Sciences, et au fait des « portes ouvertes des plates-formes » ou autre « fête de la science», ce sont eux que nous, serial imageurs, auront à renseigner. Comment alors, avec nos machines sophistiquées, leur montrer que la taille ne fait pas tout ? Comment introduire le concept complémentaire de résolution, de manière ludique et interactive?

Grâce à un simple pointeur laser, et en utilisant une goutte d'eau pour tout support d'échantillon il est possible de créer un microscope à projection laser. En s'aidant d'un peu d'électronique et de pièces imprimées en 3D il est même possible de donner à manipuler ce microscope sans risque et, pourquoi pas, d'apporter une réponse à ces questions.

Activité 1:
Voir l'infiniment petit

Public cible:
- ***Familles***
- ***Scolaires de primaire***



Le microscope à projection laser peut être facilement opéré par le grand public. L'interface tactile autorise même sa manipulation par nos plus jeunes visiteurs.
- ***Quel échantillon observer ?*** Deux échantillons simples peuvent être utilisés: de la levure de boulanger, à dissoudre dans un large volume d'eau, ou encore un prélèvement d'eau issue d'une flaque ou d'une mare.
- ***Quelles questions adresser ?*** Quelque soit l'échantillon, son aspect macroscopique est translucide, voire transparent. A quoi peut-on s'attendre à plus fort grandissement ? Un échantillon provenant d'une flaque est-il dénué de vie ? On pourra prendre quelques paris avant de passer à l'observation.
- ***Mettre en place l'échantillon et l'observer***. Suivant le degré d'interactivité souhaité pour la séance, on pourra proposer au public de charger la seringue et de créer la goutte. Il leur suffira ensuite de pointer le laser vers l'échantillon au moyen des commandes disponibles sur l'écran tactile, et d'observer l'image à l'écran.

Interface créée avec Nextion editor: https://nextion.tech/nextion-editor-ver-0-58/

Principe de base du microscope à projection laser et limitations

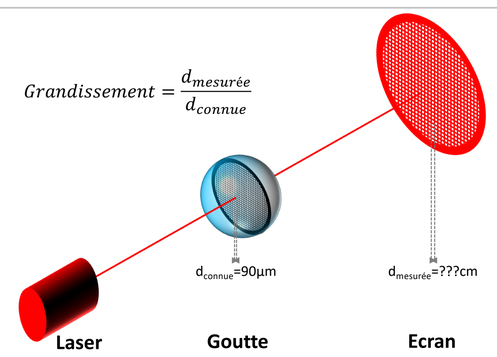
La création d'un microscope à projection laser peut être réalisée avec des moyens simples: il suffit d'une seringue chargée avec l'échantillon à observer et d'un pointeur laser. Quelques legos serviront de support à l'ensemble. La goutte formée à l'embouchure de la seringue servira à la fois de support échantillon et de lentille. Sur l'image de droite, on peut identifier quelques ombres sphériques: il s'agit d'une suspension diluée de levures de boulanger.
Si la preuve de concept fonctionne, elle souffre de quelques limitations. Les éléments ne sont pas stables et il peut arriver que la goutte tombe alors que l'on tente de la pointer. La précision de l'alignement repose grandement sur la dextérité du manipulateur. Le pointeur laser nécessite un maintient en permanence d'une pression sur son interrupteur.

Pour pallier à l'ensemble de ces inconvénients, on peut recourir à quelque effecteurs pour positionner le faisceau, à un interrupteur virtuel pour piloter son cycle d'allumage/extension, et à une impression 3D pour accueillir le tout.

Activité 2:
Mesurer le facteur de grandissement

Public cible:
- ***Collégiens***

$$Grandissement = \frac{d_{mesurée}}{d_{connue}}$$



Le microscope à projection laser renvoi une image agrandie de l'échantillon. Comment déterminer son grandissement ?
- ***Quel échantillon choisir ?*** Il faudra monter dans la goutte un échantillon dont on connait la taille. Une grille de microscopie électronique EMS200-Cu, dont les mailles carrées ont une taille de 90µm de coté, pourra servir de référence.
- ***Quelle question adresser ?*** On pourra réaliser une première observation en suivant le déroulé de l'activité 1. Se pose alors la question de la taille des objets observés. Si l'on peut mesurer les dimensions des objets sur l'écran, reste à définir la taille réelle des objets en suspension dans la goutte. Dès l'ores se pose la question de la référence à utiliser et de la démarche scientifique à mettre en œuvre. Un simple produit en croix entre la taille de l'image du spécimen, d_{connue} et $d_{mesurée}$ devrait permettre de résoudre l'énigme.

Pilotage des périphériques:
le circuit électronique

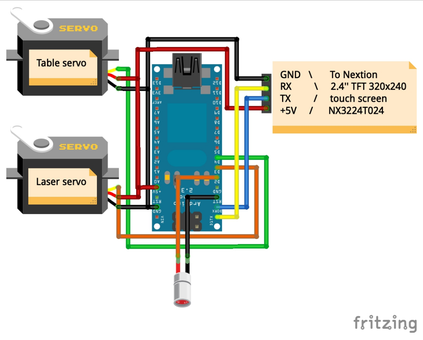
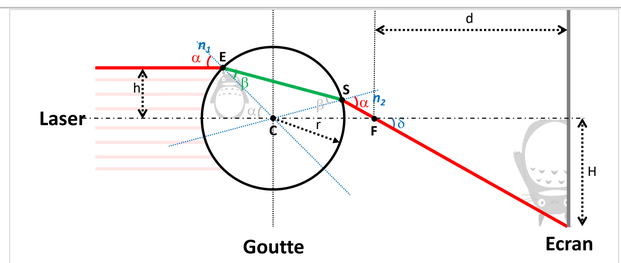


Schéma généré avec Fritzing: https://fritzing.org/home/

L'électronique du microscope est relativement simple:
- ***Une carte Arduino Nano*** (ou équivalent) est utilisée comme cœur du montage. Elle sert à piloter les effecteurs (moteurs et laser) en réponse aux actions réalisées sur l'écran tactile.
- ***Deux servo-moteurs*** pilotent l'azimut (servo « table », orientation droite/gauche) et la hauteur (servo « laser ») de la diode laser.
- ***Une diode laser***: bien qu'offrant une plus faible résolution finale qu'une diode verte, le montage repose sur une diode rouge, moins onéreuse, plus commune et moins dangereuse.
- ***Un écran tactile TFT*** Nextion: il est au cœur de l'interactivité du système en permettant le contrôle de la position des servos et l'allumage/extinction de la diode laser.

Activité 3:
Calculer le facteur de grandissement

Public cible:
- ***Lycéens***



***E**: point d'entrée du faisceau*
***S**: point de sortie du faisceau*
***C**: centre de la goutte*
***F**: foyer*
***r**: rayon de la goutte*
***h**: distance faisceau-axe de la goutte*
***H**: distance image-axe*
***n_1**: normale à la surface de la goutte, passant par E*
***n_2**: normale à la surface de la goutte, passant par S*
***d**: distance goutte-écran*

L'apparente simplicité du microscope à projection laser cache quelques éléments de mathématiques et de physique de niveau lycée. Ce dispositif permet d'illustrer quelques principes, comme la loi de Snell-Descartes, ou encore de faire appel à des notions de base de géométrie 2D.

Sous quel angle voit-on l'image ?

$\delta = \alpha - \widehat{SCF}$ et $\widehat{SCF} = 2\beta - \alpha$ ➔ $\delta = 2(\alpha - \beta)$

Loi de Snell-Descartes: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_{air}}{n_{eau}}$ avec $\sin\alpha = \frac{h}{n_{eau}}$

$$\delta = 2\left(arcsin\frac{h}{r} - arcsin\frac{h}{n_{eau}r}\right)$$

Proche de l'axe, pour des angles faibles, arcsin(α) ≈ α

$$\boxed{\delta \approx 2\frac{h}{r}\left(1 - \frac{1}{n_{eau}}\right)}$$

Quel est le grandissement attendu?

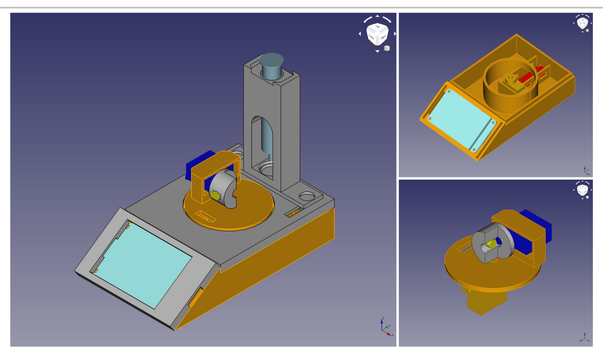
$$G = \frac{H}{h} = \frac{d\ tan\delta}{h}$$

Proche de l'axe, pour des angles faibles, tan(α) ≈ α

$$\boxed{G \approx 2\frac{d}{r}\left(1 - \frac{1}{n_{eau}}\right)}$$

Adapté de Gorazd Planinsic, Water-Drop Projector, The Physics Teacher, 2001, Vol. 39, p18-21

Conception 3D:
le corps du microscope



Design réalisé avec FreeCad: https://www.freecadweb.org/?lang=fr

Le montage électronique est hébergé dans un boitier créé sur-mesure, comportant:
- ***Le corps du microscope***, visible sur l'image en haut à droite accueille le montage, le servo « table » ainsi que l'écran. Ses découpes permettent le guidage des câbles. La connexion de l'alimentation est réalisée via son ouverture arrière.
- ***Le capot du microscope et le capot d'écran***, en gris sur le schéma de gauche, ferment l'ensemble. Le capot principal dispose d'aimants au néodyme pour la fixation d'accessoires
- ***La table du microscope***, partie circulaire orange visible en bas à droite, accueille le servo « laser » et s'insère directement sur le servo « table ». La table dispose d'une encoche laissant passer les câbles du servo « laser » et de la diode.
- ***Le support de diode laser***, visible en gris sur l'image en bas à droite, elle permet de fixer la diode et s'encastre sur l'axe du servo « laser ».
- ***Le support d'échantillon***: l'exemple du support de seringue est visible à gauche.

Construisez le votre !

L'intégralité des plans et programmes est disponible:

https://github.com/fabricecordelieres/Arduino_Laser_Projection_Microscope

https://gitlab.com/fabrice.cordelieres/Arduino_Laser_Projection_Microscope