

Réalisation d'un "mini-interféromètre"

Champs	Interférométrie
Niveau scolaire	Collège
Temps nécessaire	environ 2h

Objectifs

- Réaliser un "mini-interféromètre" et visualiser des franges d'interférence;
- Utiliser ce montage pour comprendre comment les interféromètres sont utilisés pour des observations astronomiques.



L'interféromètre du [Keck](#) à Hawaii (2 x 10m)

Pré-requis

- Notions de dimension angulaire et de pouvoir séparateur.
- Notions de longueur d'onde.
- Les calculs (élémentaires) ne font intervenir que des règles de trois.

Documents et/ou matériel utilisés

- Lampe de poche: c'est la source qui va servir d'étoile artificielle. Le choix de celle-ci est critique. Elle doit à la fois être brillante et compacte. Les lampes les mieux adaptées sont celles de la marque "MagLite" que l'on utilise en mode chandelle (en ayant enlevé le capuchon collimateur). A défaut, une lampe constituée d'un petit filament dans une ampoule en verre non dépoli peut convenir, à condition qu'il soit possible d'escamoter le système de collimation du faisceau.

-Caches diapositives: facultatifs, rendent la manipulation plus facile. Les caches carton de Kodak (20F. les 40) font très bien l'affaire. Surtout pas de caches avec verres incorporés.

- Du papier aluminium (emballage alimentaire).

- Une paire de ciseaux (pour couper le papier alu).

- Une aiguille

Déroulement détaillé

- **Début**

S'installer dans une pièce qui peut être assombrie, et permettant un dégagement d'au moins 3 ou 4m (un couloir sans fenêtre fait très bien l'affaire). Découper le papier alu en carrés de 4.5x4.5cm. Disposer la lampe de poche (sans l'allumer) à hauteur des yeux au fond de la pièce.

- **Phase de recherche**

Première étape : diffraction

1.1 - Percer avec l'aiguille dans un carré alu un trou de 2 ou 3 mm de diamètre. Monter le carré alu dans un cache diapo pour pouvoir le manipuler plus facilement. Allumer la lampe, se placer à 4m et la regarder à travers le trou en plaçant le cache contre la pupille de l'oeil.

On observe le filament de la lampe comme un point brillant (normal!).

1.2 - Percer maintenant dans un autre carré un trou de quelques dixièmes de millimètre de diamètre. Pour ceci une astuce consiste percer simultanément plusieurs feuilles de papier alu empilées. Si la pression sur l'aiguille est suffisante, celle-ci va inscrire son profil conique dans la pile de feuilles, et on génère ainsi une série de trous réguliers de diamètre variable.

Observer le filament à travers le petit trou: l'image est plus sombre, et le filament n'apparaît plus comme un point mais comme un petit disque entouré d'un anneau brillant.

Seconde étape : interférences

2.1 - Dans un nouveau carré alu, percer deux trous de quelques dixièmes de mm, espacés de 1mm au plus. L'opération est délicate si l'on veut percer des trous réguliers et demande un peu de pratique.

Observer le filament à travers cette paire de trous. On voit un seul disque d'Airy, mais parsemé de stries alternativement sombres et brillantes: les franges d'interférence. Ainsi l'image du filament vu à travers les deux trous n'est pas la somme des images du filament vu à travers chaque trou.

2.2 - Faire tourner l'interféromètre de 90°.

On constate que les franges ont tourné aussi de 90°.

Troisième étape: cohérence

3.1 - S'approcher de la source tout en continuant à l'observer à travers l'interféromètre.

A une certaine distance, les franges s'estompent puis disparaissent. La condition de cohérence est perdue.

3.2 - S'éloigner de la source. Tourner l'interféromètre de 90° , et chercher de nouveau la distance à laquelle les franges disparaissent.

Cette distance sera probablement différente de celle constatée la première fois.

• Résultats

1.2 - Explication: l'image est plus sombre parce que moins de flux passe à travers le petit trou. La lumière est diffractée passant à travers le trou, et l'image d'un point source est étalée pour former (si le trou est circulaire) un disque d'Airy dont le diamètre angulaire est:

$$2.4 \lambda / d,$$

avec λ la longueur d'onde de la lumière (0.0005mm) et d le diamètre du trou. Si d est suffisamment petit, le disque d'Airy est plus grand que le pouvoir de résolution de l'oeil (qui est de l'ordre de 0.001 radian). Par exemple, pour $d=0.2\text{mm}$, le diamètre du disque d'Airy est $2.44 \times 0.0005 / 0.2 = 0.006$ radian, et celui-ci devient bien visible à l'oeil.

2.1 - Explication: dans certaines conditions (réalisées ici, et dites conditions de cohérence), les intensités lumineuses ne s'ajoutent pas mais forment une figure plus complexe appelée figure d'interférence. Le montage que nous avons réalisé s'apparente au montage dit des trous d'Young, et la théorie prévoit que l'interfrange a pour dimension angulaire :

$$\text{interfrange} = \lambda / B,$$

avec B la distance entre les deux trous (aussi appelée "base" de l'interféromètre). Le nombre de franges visibles à l'intérieur du disque d'Airy sera donc:

$$n_{\text{franges}} = (\lambda / d) / (\lambda / B) = B/d$$

Il faut faire attention à ce que:

- d ne soit pas trop grand, sinon le disque d'Airy n'est pas résolu par l'oeil. Mais si d est trop petit, le disque d'Airy, trop sombre, peut être difficile à voir;

- B ne soit pas trop grand, sinon il y a trop de franges dans le disque d'Airy et l'oeil ne peut les séparer. Plus B est grand, et plus les franges sont serrées. En pratique, il est difficile de voir plus d'une dizaine de franges dans un disque d'Airy.

2.2 - Explication: les franges sont orthogonales à la ligne joignant les deux trous de l'interféromètre (ligne de base), et tournent avec celui-ci.

3.1 - Explication: la théorie prévoit que les franges disparaissent lorsque la relation suivante existe entre la taille angulaire q de la source, la base B et la longueur d'onde λ :

$$q \cdot B / \lambda = 1.2.$$

Si la source, vue à une distance D , a pour dimension linéaire l , sa taille angulaire est $q = l / D$. Ainsi, si on connaît la base à laquelle les franges disparaissent, on peut mesurer la dimension angulaire de la source, et si on connaît sa distance, sa dimension linéaire. On obtient un pouvoir de résolution qui est déterminé par la base B , et non plus par le diamètre des ouvertures individuelles. C'est ainsi que des interféromètres astronomiques peuvent, par exemple, mesurer le diamètre d'étoiles qui sont trop petites pour être résolues par un simple télescope.

3.2 - *Explication: le filament, rectangulaire, a une dimension différente dans chacune des directions orthogonales. L'interféromètre mesure la dimension de la source dans la direction parallèle à la base.*

- **Commentaires**

On peut aussi réaliser ce TP qualitativement sans faire les calculs. Il peut ainsi être adapté au niveau primaire. Pour simuler la présence de l'atmosphère et donc de la turbulence, on peut intercaler entre la source et l'interféromètre un morceau de transparent dépoli. On ne voit plus les franges! Faire remarquer à l'élève que la présence de l'atmosphère complique les observations interférométriques, et que en pratique, pour s'en affranchir, l'astronome utilise l'optique adaptative ou des instruments en orbite.

Bibliographie, sources

Interférométrie optique : ombres et lumières sur l'univers.
La recherche 292, page 68, Novembre 1996.

Méthodes de l'Astrophysique.
L. Gouguenheim, Hachette.

Basics of interferometry.
Hariharan, P - Academic Press - 1992.

<http://tpf.jpl.nasa.gov/>

<http://sim.jpl.nasa.gov/index.html>

Conseils

attention aux aiguilles!!

Alain Doressoundiram