
MESURE DE LONGUEUR

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. L'utilisation de mesures utilisant des interférences optiques conduit à des mesures intéressantes dont on pourra discuter la précision par rapport à des mesures plus directes.
- 2015, 2016 : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. Par ailleurs, la mesure d'une longueur de cohérence n'a pas en soi sa place dans ce montage.
- 2014 : Ce montage n'est ni un montage de spectroscopie, ni un montage de focométrie ; en particulier, la mesure de longueurs d'ondes en tant que telle ne semble pas indiquée. On peut en revanche discuter des méthodes de mesure de longueurs adaptées à grande et à petite échelle. Rappelons que des objets micrométriques peuvent être mesurés avec un instrument optique adapté.
- 2013 : Il est dommage de voir tant de montages à prétention métrologique où les incertitudes sont très mal gérées. Lors d'utilisation de « boîtes noires », il est indispensable de connaître leur fonctionnement.
- 2012 : Le jury a pu assister à des montages variés et bien structurés, balayant les diverses échelles de longueurs, de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Cependant, les incertitudes, malgré leur importance dans ce montage, sont souvent très mal gérées et mal hiérarchisées.
- 2010 : Il est dommage de voir tant de montages à prétention métrologique où les incertitudes sont très mal gérées.
- 2009 : Il est inutile d'utiliser un interféromètre de Michelson pour déterminer la différence de marche engendrée par une lame de microscope si on cherche à déterminer son épaisseur avec un indice peu précis !
- 2005 : Les appareils de mesure traditionnels (palmer, mètre-ruban) permettent de vérifier les valeurs obtenues par des méthodes dont on cherche à illustrer le principe.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

- Télémétrie ultrasonore (ca marche mais c'est un peu éclaté quand même) Il y a un problème de 0.
- Triangulation (Stylé mais il faut un étalon)
- Mesure de l'épaisseur d'une lame avec un michelson
- Diffraction des électrons.

Table des matières

1	Mesure de grande distances	2
1.1	Mesure par triangulation	2
1.2	Motivation	2
1.3	Mesure télémétrique (si le temps de permet manip tampon)	3

2	Mesure de petite distance [10,100] μm	3
2.1	Mesure interférométrique de l'épaisseur d'une lame	3
3	Mesure à très petite distance : Diffraction des électrons	4
3.1	Principe :	4

Introduction

C'est un montage de métrologie. On veut donc comparer un mesure de distance arbitraire à un étalon. Il faut donc a chaque fois bien spécifier l'étalon qui est notre référence.
 Nous allons ici balayer plusieurs échelles de longueurs.

1 Mesure de grande distances

1.1 Mesure par triangulation

1.2 Motivation

Cette méthode était utiliser pour tracer des cartes mais aussi pour mesurer la distance des étoiles proches via la parallaxe diurne ou annuelle. (Pour prauxima Centauri, l'étoile la plus proche du Systèmes solaires, la parallaxe est de 760 milisecondes d'arc ce qui correspond à 1.32 pc.) Cela sert aussi pour la distances a des planètes
 Point historique : un parsec est la distance à laquelle une unité astronomique sous tend une seconde d'arc. En d'autres termes, si j'observe un angle de une seconde d'arc, entre deux goniomètre espacés d'une distance terre soleil, alors l'objet est à un parsec (soit environs 3×10^{-13} km

Le principe est le suivant : On pointes un objet avec deux goniomètre et on mesure les angles avec la droite reliant les goniomètres. En connaissant l'écartement des goniomètre (c'est notre étalon) on déduit la hauteur du triangle formé par l'objet et les deux goniomètres.

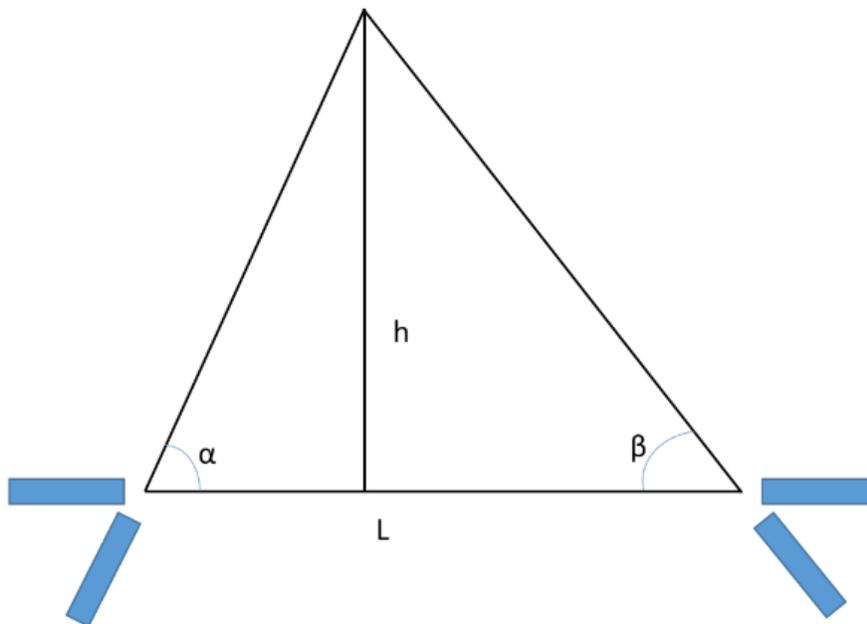


FIGURE 1 – *Principe de mesure*

Protocole

- On prends deux goniomètres et l'on place les lunettes de visées l'une en face de l'autre (grossièrement)
- On regarde dans chaque lunette pour vérifier que l'on voit le réticule
- On place des sources de lumière derrière chaque lunette des goniomètres (un peu éloigné, pas pour avoir un joli éclairage mais simplement pour pouvoir voir le réticule d'un goniomètre depuis l'autre.)
- On place la vis de mis au point en buté sur chaque goniomètre pour voir l'entièreté de l'autre goniomètre en regardant dans le premier. On fait des aller retours entre les goniomètres pour place le centre du réticule au milieu de la lunette de l'autre
- On place les deux lunettes à mis courses et on essaye de faire la mise au point du réticule du goniomètre d'en face. (le réglage est fin... et la position où l'on voit le réticule d'en face n'est pas celle à laquelle on s'attend : tout est flou autour sauf les réticules) On supoerpose les réticules en faisant des allers retours entre les goniomètres.
- On mesure la distance entre les centres des plaques tournantes, et les angles des lunettes alignés
- on vise ensuite un objet avec les deux lunette et on relève les angles.

$$h = L \left(\frac{\tan(\alpha) \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \right)$$

Attention les angles sont pris positivement, mais il faut faire attention que les goniomètres ne tourne pas dans les même sens.

Il est à noté que la théorie ne necessite aucune hypothèse particulière, cependant, pour les étoiles lointaines par exemple, les angles tendent venrs $\pi/2$. C'est là ou les incertitudes sont les plus fortes.

Incetitudes :

- Sur la longueur : On mesure au mètre ruban, donc a priori on a $\frac{1}{\sqrt{3}}$ mm mais en pratique on aura plus 2 cm car le metre ruban et flexible et qu'il y a une incertitude sur la détermination du centre du goniomètre.
- Incertitude sur la lecture au vernier. $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ car on fait une différence.
-

$$u(h) = h \sqrt{\left(\frac{u(\beta) \tan(\beta)}{\sin^2(\beta)} \right)^2 + \left(\frac{u(\alpha) \tan(\alpha)}{\sin^2(\alpha)} \right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L} \right)^2}$$

1.3 Mesure télémétrique (si le temps de permet manip tampon)

Pour cette mesure, tracez une droite d'étalonnage de Δt en fonction de d , que l'on mesure alors au mètre. On a un offset qui est du au récepteur (et pas à la dispersion). Prenez comme référence quelque chose d'assez absolu et reproductible (par exemple, le début du burst que vous envoyez, et le maximum du paquet d'ondes que vous recevez).

On estime la vitesse du son en mesurant la température :

$$c = \sqrt{\gamma RTM}$$

avec $\gamma = 1.4$ gaz parfait diatomique, $M =$ et $R = 8.314 \text{ JK}^{-1}$ On a

$$d = \frac{c \delta t}{2}$$

2 Mesure de petite distance $[10, 100] \mu\text{m}$

2.1 Mesure interférométrique de l'épaisseur d'une lame

Les interférences lumineuses sont utile car elle permettent de faire des mesure très précises (de l'ordre de la longueur d'onde utilisée). Pour illustrer cela, on se propose de mesure l'épaisseur d'une lame mince. On utilise un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air. On a donc en appliquant la formule de fresnel dans un cas monochromatique :

$$I = 2I_0(1 + \cos(\delta\phi)) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} 2\alpha x + \frac{2\pi}{\lambda} \delta_{lame} \right) \right)$$

Donc l'interfrange est donné sans la lame :

$$i = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

Version naïve : Lecture au vernier. Cela donne un ordre de grandeur que l'on pourra comparer a posteriori.

Version stylé mais peut être longue (dépend de l'épaisseur de la lame ?)

Mesure de l'épaisseur d'une lame :

Principe : Placer une lame entraîne une augmentation de la différence de marche qui décale les franges irisés de newton.

- Avec une lame semi-réfléchissante, éclairer simultanément, l'interféromètre de Michelson en coin d'aire avec un laser et une lampe QI+AC.
- On utilise les interférence en lumière blanche pour repérer le contact optique avec et sans la lame. On compte le nombre de frange du laser qui passe sur l'écran.
- On compte N interfrange. Donc

$$-2\pi N + \frac{2\pi}{\lambda} \delta_{lame} = 0$$

On en déduit que $\delta_{lame} = (n - 1)e = \lambda N$

- On a donc une mesure précise au niveau d'une longueur d'onde du laser, ce qui est supérieur à l'homogénéité de l'état de surface de la lame

Alternative plus rapide :

Mesure de spectre cannelé :

- On se place a une position intermédiaire, entre le contact optique avec et sans lame.
- On fait un spectre du blanc d'ordre supérieur que l'on observe avec et sans lame.
- on compare les spectres canelés. **Longueur d'onde des canelures sans lame :**

$$\lambda_p = \frac{4\alpha x}{p + 1/2}$$

Avec lame :

$$\lambda'_p = \frac{4\alpha x + 2(n - 1)e}{p + 1/2}$$

On écrit ensuite :

$$\beta = \frac{1}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_{p+1}} = \frac{1}{4\alpha x}$$

et

$$\beta' = \frac{1}{\lambda'_p} - \frac{1}{\lambda'_{p+1}} = \frac{1}{4\alpha x + 2(n - 1)e}$$

$$2(n - 1)e = \frac{1}{\beta'} - \frac{1}{\beta}$$

3 Mesure à très petite distance : Diffraction des électrons

3.1 Principe :

Des électrons, accélérés par un champs électrique, sont diffractés par le graphite. Ceci permet de mesurer de la distance entre deux plans réticulaires.

On veut estimer le paramètre de maille des couches de graphène qui composent le graphite. On considère une poudre de graphite qui diffracte des électrons.

On pourrait le faire avec des ondes électromagnétiques, mais il faudrait alors utiliser des rayons X durs, dangereux

pour l'homme. On utilise ici la nature ondulatoire des électrons. La longueur d'onde de De Brogli associées aux électrons est : $\lambda = h/p$

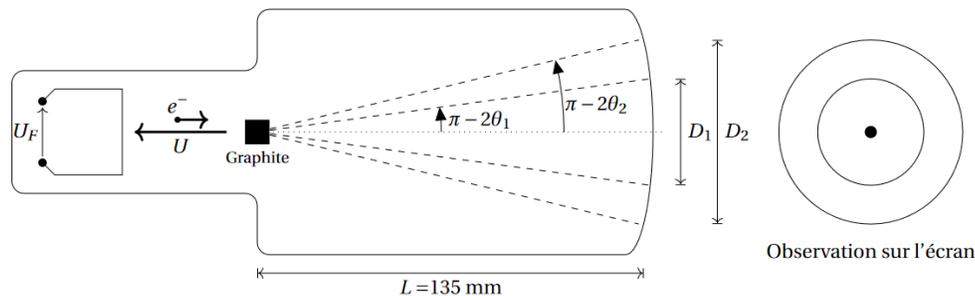


FIGURE 2 – Diffraction des électrons : il est impératif d'avoir la notice, notamment pour le branchement et pour vérifier les valeurs

La relation de Van Laue donnant la diffraction par des électrons est :

$$\vec{k} - \vec{k}' = \vec{G} \text{ Vecteur du réseau réciproque} \implies n\lambda = 2d \sin(\theta)$$

Cette dernière relation est la relation de Bragg, elle lit la distance d entre deux plan réticulaire à la longueur d'onde et à l'angle diffracté.

Si l'objet diffractant était un monocristal pur, alors on n'observerait un point diffracte uniquement et ceux uniquement si on attaque le cristal avec le bon angle. Ça devient coton de faire des mesures... Heureusement on utilise une poudre. Aussi on peut considéré qu'il y a tous les angles possible pour les plans réticulaire par rapport aux rayons incident et comme la direction du rayon incident est fixé, la figure de diffraction constitue un cercle sur l'écran. En faisant l'approximation des petits angles, on relie le diamètre des cercles aux plan réticulaires par :

$$\lambda = 2d \frac{D}{2L}$$

Il ne nous reste plus qu'à déterminer λ . Pour cela on utilise les caractéristique du canon à électrons. La conservation de l'énergie mécanique nous donne :

$$\frac{1}{2}m_0^2 + Ue = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

On en déduit v et donc p et donc λ

$$\frac{1}{D} = d \frac{2me}{2hL} \sqrt{U}$$

- Brancher les sorties F1 et F2 à l'arrière du support pour tube sur les sorties 6.3V/2A à l'arrière de l'alimentation P43.10.
 - Raccorder les sorties C et X au pôle négatif de la sortie haute tension, puis la sortie A au pôle positif, et relier le pôle positif à la terre.
 - Vérifier le bon branchement sur la notice avant de mettre en marche l'alimentation ! (on peut vérifier sur le TP aussi)
 - On allume et on observe des cercles.
 - On place une grille accolé au culot. On fait une image sur image J en passant par le logiciel ueye (l'image est déformé sur ueye mais pas sur image J). L'image de la grille sert pour faire l'échelle.
 - On enlève la grille et on prend des photos pour différentes tension. On fait ensuite coïncider au mieux des ellipses sur image J. On a ainsi une incertitude avec le petit axe et le grand axe donné par image J (on sous estime un peu les incertitudes en faisant cela je pense)
 - On trace ensuite $\frac{1}{D} = f\left(\frac{2me}{2hL}\sqrt{U}\right)$ On a une droite de pente d
 - Il y a à chaque fois deux rayons. Ces deux rayons correspondent à différents plan réticulaire. On a pas la pente tabulé ... Ceci peut être du au fait que l'on fait pas vraiment la mesure de la tension, qui peut alors être différente de celle afficher. Cependant, une chose qui peut faire confiance à nos mesures est que le rapport entre les plans réticulaires vaut $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (explication géométrique).
 - Valeur attendues : $d_1 = 213$ pm et $d_2 = 123$ pm
- On ne voit que deux anneaux car les autres plan entraîne des angles plus grands.

- $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg désigne la masse de l'électron
- $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C désigne la charge élémentaire
- $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js désigne la constante de Planck
- $L = 135$ mm désigne la longueur du tube. (cf notice)

Conclusion

Nous avons étudié différentes mesure de longueur. A chaque fois il nous faut un étalon et on déduit une mesure de longueur de celle ci. Aujourd'hui le mètre est défini à partir de la vitesse de la lumière et de la seconde (elle même définit comme le temps de 9 192 631 770 oscillation d'un atome de césium).