

MP26 – MESURE DE LONGUEURS

12/01/17

*Vous parlez toujours d'égalité des sexes, il n'y en a aucun
qui a la même longueur.*

Antoine Essig & Louisiane Devaud

DE AMELIN

Commentaires du jury

2015, 2016 : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du régllet 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.

Bibliographie

✦ *Montages de physique au CAPES*, **Bellier**

✦ *physique expérimentale*, **Jolidau**

✦ *BUP 737/830*

✦ *Sextant*

→ pour la parallaxe et la télémétrie

→ Pour la télémétrie, petit commentaire

→ Pour la parallaxe

→ Pour la diffraction d'un file

Expériences

☞ Parallaxe

☞ Télémétrie acoustique

☞ Diffraction d'un fil

☞ Mesure de l'épaisseur d'une lame par spectrométrie

☞ Diffraction des électrons par le graphène (BONUS)

Table des matières

1	Mesure par Triangulation/Parallaxe	2
2	Télémétrie acoustique	3
3	Mesure Spectroscopique de l'épaisseur d'une lame de verre.	3
4	Diffraction par un fil	4
5	Diffraction des électrons par le graphite	5

Introduction

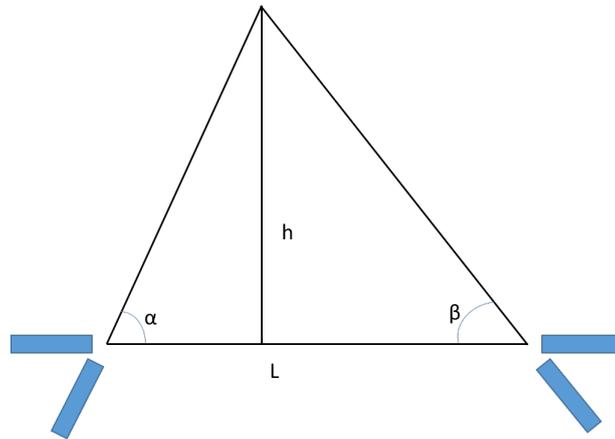
La mesure d'une longueur a toujours été nécessaire à l'homme dans le but de se repérer ou de tracer des cartes. Une mesure est la détermination de la valeur numérique d'une grandeur physique, en comparaison avec un étalon, qui définit l'unité de cette mesure. Pendant longtemps celui-ci n'était pas universel et défini par rapport au corps humain : pied, bras, pouce. Aujourd'hui on utilise le mètre défini comme $1/299\,792\,458$ de la distance parcourue par la lumière en une seconde (la seconde étant défini par les horloges atomiques).

Dans ce TP nous chercherons à mesurer des longueurs couvrant des ordre de grandeurs allant du très grand au très petit. Il est important lorsqu'on mesure une longueur de préciser le modèle utilisé. En effet Erathostène et Anaxagore ont mesuré la même grandeur mais l'un a conclu que la Terre avait un rayon de 6500km, l'autre que le Soleil se trouvait à une distance de 6500km de la Terre. On fera donc toujours attention aux modèles utilisés lors de la mesure d'une longueur dans ce TP en plus de prêter attention aux incertitudes

1 Mesure par Triangulation/Parallaxe

Bellier ;BUP 737/830

Nous allons ici réaliser la mesure d'une longueur par triangulation. En pratique cette technique est utilisée pour le tracer de carte mais aussi pour mesurer la distance des étoiles proches via la parallaxe diurne ou annuelle.



$$h = \frac{L}{\cotan(\alpha) = \cotan(\beta)} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \frac{\left(\frac{\Delta\alpha}{\sin(\alpha)^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{\sin(\beta)^2}\right)^2}{(\cotan(\alpha) + \cotan(\beta))^2}} \quad (2)$$

Triangulation



Le but de la manip de mesurer une longueur en mesurant deux angles grâce à deux goniomètres. Pour cela il faut mesurer quatre angles et les deux différences nous donnent α et β

- On règle les oculaires pour voir nette les croix.
- Il faut ensuite aligner les goniomètres pour mesurer les deux premiers angles. On commence par les aligner à l'oeil (sans regarder dedans...). Ensuite on fait la mise au point sur le devant de la lunette d'un des gonio avec l'autre et on place la croix au centre de la lunette. Puis on éclaire cette lunette (celle dans laquelle vous ne regardez pas) par derrière avec une lampe QI avec un filtre AC et un dépoli et on la décale jusqu'à ce qu'on voit les deux croix superposées (attention il faut faire une nouvelle mise au point sur la croix cette fois ci). A ce moment les deux lunettes sont alignées et on peut mesurer les angles.
- On tourne les lunettes pour viser le point dont on veut connaître la distance et on mesure les deux angles qui lorsqu'on leur soustrait les deux angles précédent donnent α et β .

• on n'oublie pas de mesurer la distance L entre les deux centres des goniomètres.

$$L = \dots \pm \dots \qquad \alpha = \dots \pm \dots \qquad \beta = \dots \pm \dots$$

$$h = \dots \pm \dots$$

Remarque

lorsque un des angles tend vers $\pi/2$ l'incertitude des angles augmente beaucoup. Si les deux angles tendent vers $\pi/2$ l'incertitude explose !

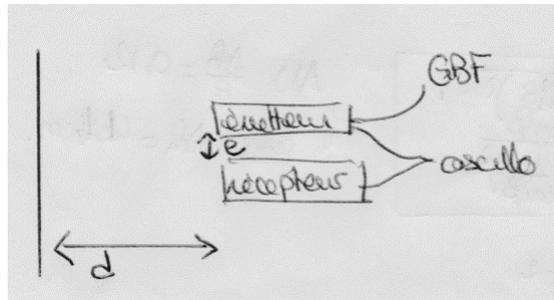
Le triangle isocèle est la configuration minimisant la propagation de l'incertitude des angles sur h.

Il n'est pas indispensable de d'éclairer par une lampe QI.

2 Télémétrie acoustique

Bellier ; Jolidon

Un émetteur à ultra-son envoie un signal sur une plaque réfléchissante (par exemple plastique ou métal) et un récepteur positionné à coté récupère le signal réfléchi.



Télémétrie acoustique

- On place un détecteur et un émetteur côte à côte à une distance d d'une plaque.
- on envoie des burst de fréquence 40kHz avec un GBF séparés de 10 ms.
- on mesure le temps de retard Δt sur l'oscilloscope.

On peut évaluer la vitesse du son dans l'air en supposant l'air comme un gaz parfait diatomique. Prendre du coup un thermomètre pour mesurer la température de la salle et en déduire la vitesse du son :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \qquad \frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{2} \frac{\Delta T}{T}$$

On en déduit donc la distance entre la plaque et les émetteurs.

$$d = \frac{c\tau}{2} \qquad \frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau}{\tau}\right)^2}$$

$$c = \dots \pm \dots \qquad d = \dots \pm \dots$$

3 Mesure Spectroscopique de l'épaisseur d'une lame de verre.

Pas de Biblio

Matériel : Spectromètre HR4000, michelson, lame de verre P16.32.

Le spectro HR4000 est très précis mais pour vérifier sa précision nous avons mesuré différentes longueurs d'onde spectrale (celle de Na, Cd, H et du laser He-Ne) et l'écart entre la valeur tabulée et la valeur mesurée nous a donné la précision du spectro de 0,06nm. En contre partie ce spectro ne détecte que des longueurs d'onde sur une plage de 100nm (environ entre 570nm et 680nm). L'avantage est que l'indice du verre varie peu sur cette gamme de longueur d'onde ($\Delta n = 0.003$) permettant une mesure très précise.

mesure spectrométrique de l'épaisseur d'une lame de verre

- ☞
- ⊖
- On règle le Michelson en lame d'air à face parallèle au contact optique en lumière blanche.
- On rajoute la lame de verre sur un des bras et on observe le spectre de la lumière au spectromètre.
- Des annulations apparaissent dans le spectre, on mesure pour deux annulations la longueur d'onde et on compte le nombre d'annulations entre les deux.

$$\lambda_1 = \dots \pm \dots \quad \lambda_2 = \dots \pm \dots$$

Les longueurs d'onde aux annulations vérifient :

$$\lambda * (p + 1/2) = 2 * e * (n(\lambda) - 1) \tag{3}$$

avec p un entier indexant les annulations et e et n l'épaisseur et l'indice de la lame.

Soit Δp le nombre d'annulation entre nos deux longueurs d'onde choisies, on évalue e par :

$$e = \frac{\Delta p}{2(n - 1)} * \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \tag{4}$$

n variant peu sur la plage considérée on peut le considérer comme constant prenant sa variation en compte comme une incertitude.

$$n = \dots \pm \dots$$

l'incertitude est donné par :

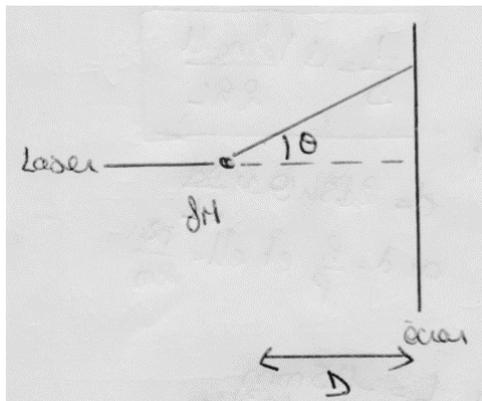
$$\frac{\Delta e}{e} = \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{n - 1}\right)^2 + \frac{\left(\frac{\Delta \lambda_1}{\lambda_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda_2}{\lambda_2}\right)^2}{\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)^2}} \tag{5}$$

$$e = \dots \pm \dots$$

4 Diffraction par un fil

Sextant

Matériels : laser He-Ne, plusieurs fils de diamètres connus, un écran.



Dans les conditions de Fraunhofer, l'interfrange i et le diamètre d du fil sont reliés par :

$$d = \frac{\lambda D}{i}$$



diffraction par un fil

- ☞
- ⊖
- On envoie un laser sur un fil de diamètre connu
- On place un écran derrière à une distance D fixe

-On mesure à chaque fois 6 interfranges pour différents diamètres de fil.

On trace le diamètre de fil en fonction de l'inverse de l'interfrange et on modélise par une droite permettant un étalonnage. L'étalonnage peut ensuite être utilisé pour remonter à l'épaisseur d'un fil inconnu en mesurant son interfrange.

5 Diffraction des électrons par le graphite

Biblio : notice !

Les électrons accélérés par un champ électrique sont diffractés par le graphite et permettent la mesure de la distance entre deux plans réticulaires.

Par la relation de Bragg et le lien longueur d'onde/quantité de mouvement on obtient la relation :

$$\frac{1}{D} = d \frac{\sqrt{2m_e U}}{2hL} \quad (6)$$

Avec D le diamètre d'un cercle de diffraction, d la distance entre deux plans réticulaires, U la tension appliquée et L la longueur entre le graphite et l'écran (donné dans la notice).

Il est possible alors de faire soit une mesure et d'en déduire d ou alors de faire varier U et de faire une régression linéaire pour en déduire d .

Conclusion

On a vu dans ce montage comment il était possible de mesurer différentes longueurs allant du très grand (année lumière pour la parallaxe) au très petit ($10\mu m$ pour la diffraction et Michelson). La plupart de ces techniques sont toujours utilisées aujourd'hui par les astrophysiciens, les géomètres, les radars et sonars. Il existe d'autres méthodes permettant de mesurer d'autres échelles de longueur comme la diffraction par les rayons X ou électrons permettant de mesurer des distances de l'ordre de la centaine de picomètre.

Commentaires, planning de la semaine ski :