

M26 - Mesure de longueurs

Vendredi 24 Janvier 2014

Binôme : *Celindano Christophe*, Clément Beaufile

Correcteur : Laure-Hélène Reydelet

Bibliographie :

- BUP 836 (07-08-09/2001), pages 1277-1278 (mesure par parallaxe)
- BUP 794 (05/1997), pages 1013-1018 (Mesure distance terre-lune + travaux des grecs)
- Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physiques, John Taylor
- Notice Diode laser pulsée Hitachi HL6312G (009)
- Notice ens cachan 445 - Tube de diffraction.

Plan du montage

1	Introduction	1
2	Télémétrie laser - Mesure métrique	2
3	Parallaxe	3
4	Diffraction d'électrons - Mesure angströmétrique	4
5	Mesure par interférométrie - Epaisseur d'une lame	5
6	Questions	5
7	Remarques	6

1 Introduction

Mesurer, c'est associer à une grandeur physique une estimation et une incertitude, grâce auxquelles on peut définir un intervalle de confiance qui correspond au pourcentage de mesure qui y sont incluses. Chaque grandeur possède une unité (qui va dépendre du système d'unités utilisé). Pour les unités du 'Système international', la longueur s'exprime en mètres qui a été défini historiquement comme¹ :

- **1791** : Pour l'académie française des sciences, le mètre était défini comme 10^{-7} de la moitié d'un méridien terrestre,

1. Je n'ai malheureusement pas trouvé de biblio pour l'historique mais ai été sur wikipédia.

- **1792** : La mesure des distances séparant Dunkerque-Rodez et Barcelone-Rodez par Jean-Baptiste Joseph Delambre et Pierre Méchain permet de définir la valeur du mètre,
- **1799** : Le mètre est trop court de 0.2mm par rapport à la valeur initiale mais cela n'empêche pas que cette valeur soit utilisée 90 ans,
- **1889** : Nouvelle définition ; c'est désormais la distance séparant deux points sur une barre d'un alliage de platine et d'iridium,
- **1960** : $1m = 1650736.73$ longueurs d'onde d'une radiation émise par l'isotope 86 du krypton,
- **1983** : Définition actuelle qui est la distance parcourue en $1/299792458s$, qui s'illustre dans l'expérience suivante.

2 Télémétrie laser - Mesure métrique

Matériel :



- 1 diode laser pulsée (voir image) polarisée en inverse et une alim symétrique +15/-15V,
- 1 oscilloscope,
- 1 banc d'optique de 2m,
- 1 lame séparatrice,
- 1 coin de cube,
- 1 lentille de courte focale,
- 1 photodiode.

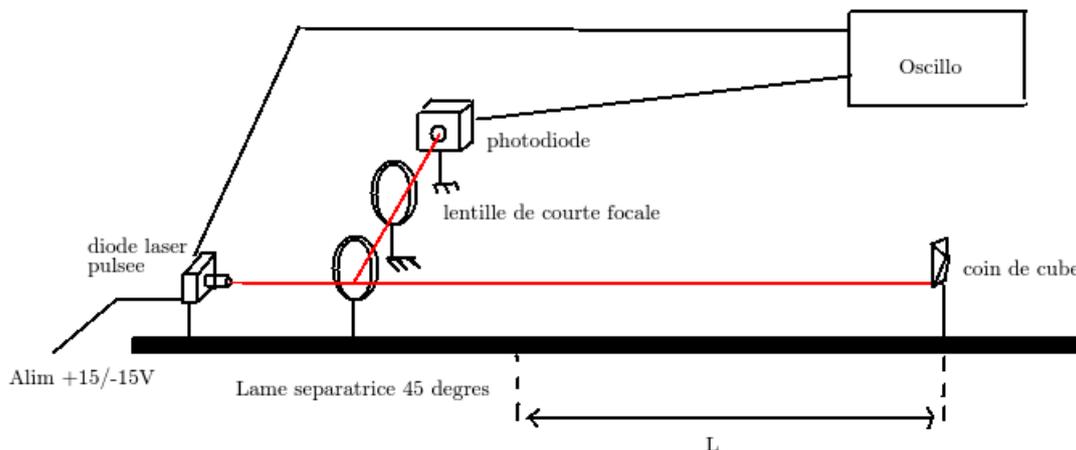


FIGURE 1 – Montage de télémétrie

Ce principe est utilisé en pratique pour mesurer des grandes distances comme celle séparant la terre de la lune et des vitesses comme celle d'automobilistes². L'intérêt ici est qu'ici l'incertitude ne dépend pas de la distance mais uniquement du temps de réponse du/des détecteur(s).

Principe :

Sur l'oscilloscope on affiche en voie 1 le signal fourni par la diode pulsée et en voie 2 celui reçu par la photodiode. Le faisceau laser atteignant le coin de cube est réfléchi dans la même

2. Avec la prise en compte de l'effet Doppler.

direction grâce à celui-ci puis à nouveau par la séparatrice en direction de la photodiode qui reçoit un faisceau bien focalisé grâce à la lentille de courte focale. Lorsque tout est bien réglé le déplacement du coin de cube ne provoque pas d'atténuation au niveau du signal reçu par la photodiode. Désormais on peut charioter d'une distance souhaitée (environ 1,3 m sur les graduations du banc) et mesurer le décalage en temps τ entre les deux pics obtenus pour les positions avec les curseurs³. Ensuite, on peut en déduire la distance grâce à :

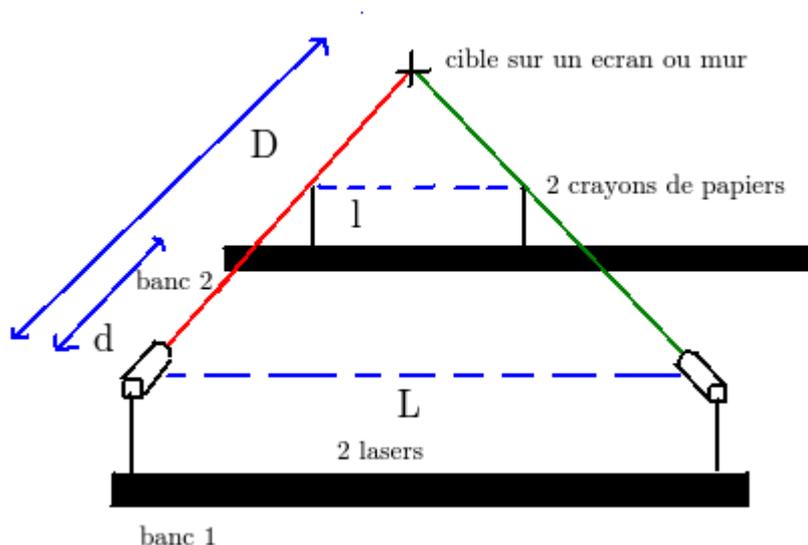
$$L = \frac{c\tau}{2}$$

Où l'incertitude $\Delta L = c\Delta\tau/2 = c/2 \times \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2} = C/2 \times \sqrt{2} \times \Delta t_{oscillo}$ ne dépend pas de la position. Le résultat trouvé était $L = (1,28 \pm 0.02)m$.

Rq : Penser à bien dilater l'échelle de temps sur l'oscillo pour plus de précision.

3 Parallaxe

Matériel :



- 2 bancs d'optique gradués,
- 1 réglet,
- 2 lasers,
- 2 crayons de papiers,
- 4 supports pour mettre les objets sur le banc,
- 1 écran ou 1 mur plus souvent disponible normalement.

Ici la manipulation, certes un peu rustique a pour but l'illustration d'un concept historique qui a permis beaucoup de mesures, notamment la distance entre la terre et des étoiles. On pointe un objet qui se trouve dans la direction perpendiculaire au bancs d'optique avec le premier laser (rouge sur la figure) et on pointe ce même objet avec le deuxième laser. Les crayons disposés sur le deuxième banc permettent en venant couper les faisceaux lasers de déterminer la distance l , on mesure la distance d séparant les deux bancs grâce au réglet et L, l directement sur les bancs. grâce au théorème de Thalès on trouve :

$l/L = (D - d)/D$, d'où $D = Ld/(L - l)$. Si l'on estime que la mesure d'une longueur sur le banc est précise à $\pm 1mm$ alors :

$\Delta l = \Delta L = \Delta D = \pm 1mm$. Sur Igor, on rentre les valeurs obtenus en préparation pour $N=5$ ou 6 mesures en ajoutant la propagation des incertitudes pour chaque valeur et l'on récupère l'écart type sur Igor. L'incertude totale est donc $\Delta D = \sigma \times std(0,95; N - 1)/\sqrt{N}$.

3. Nous l'avons mesuré à mi-hauteur pour plus de précision.

Nous trouvons $D = (168 \pm 1)cm$.

4 Diffraction d'électrons - Mesure angströmétrique

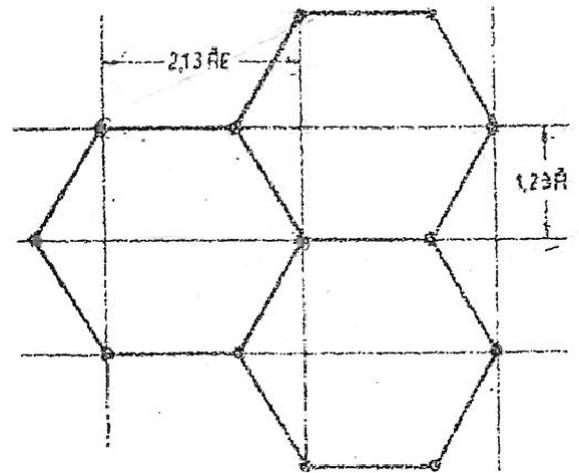
Matériel :



- Tube de diffraction,
- Dispositif de chauffage de la cathode,
- Alimentation permettant de régler la différence de potentiel cathode-anode.

Principe :

Ici, le chauffage de la cathode et l'application d'une différence de potentiel permet l'émission d'électrons, qui sont ensuite focalisés par un système électro-optique puis diffractés par un réseau de graphite dans les conditions de Bragg. On visualise sur le fond du tube auquel on a ajouté du papier millimétré, deux cercles concentriques qui correspondent au premier ordre de diffraction pour chacun des deux différentes distances d_i entre plans du réseau.

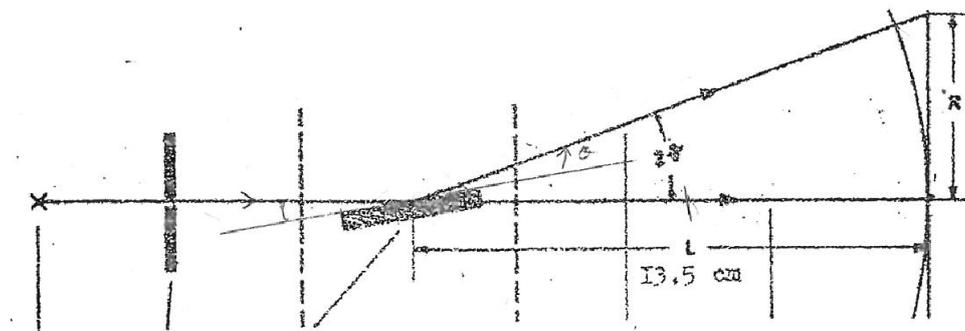


La longueur d'onde de De Broglie de l'électron s'écrit $\lambda = h/p = h/mv$ que l'on cherche à exprimer en fonction de la différence de potentiel appliquée. L'énergie cinétique d'un électron correspond au travail électrique fourni donc $1/2 \times mv^2 = qV$ ce qui permet d'écrire $\lambda = h/\sqrt{2mqV}$ ce qui nous donne une valeur pour lambda⁴. La relation de Bragg ici vérifiée s'écrit pour le premier ordre $2d_i \sin(\theta) = \lambda$.

Si l'on considère que les angles sont très petits⁵ $\tan(\theta) = \sin(\theta) \approx \theta = R_i/L$ d'où $d_i = \lambda L/R_i$. Grâce à la propagation des incertitudes, on a $\Delta d_i = \sqrt{(L/R_i)^2 \Delta \lambda^2 + (\lambda L/R_i^2)^2 \Delta R^2}$. On prend ici une incertitude de $0.1cm$ sur L et $100V$ pour V . On mesure en divisant le diamètre par deux de chaque cercle sur le papier millimétré $R_1 = 13mm \Rightarrow d_1 = (2.2 \pm 0.3) \times 10^{-10}m$ et $R_2 = 24mm \Rightarrow d_2 = (1.2 \pm 0.3) \times 10^{-10}m$ pour des valeurs tabulées de respectivement $2.23 \times 10^{-10}m$ et $1.23 \times 10^{-10}m$. Cette méthode est peu précise mais permet d'avoir au moins un bon ordre de grandeur de distances inter-réticulaires grâce à la simple mesure d'un rayon.

4. Nous avons utilisé $V = 3300V$.

5. Le contre-coup est qu'on augmente l'incertitude légèrement.



5 Mesure par interférométrie - Epaisseur d'une lame

Matériel :

- Michelson,
- Lampe blanche,
- Lampe à vapeur de sodium HP,
- Lentille de projection,
- Condenseur,
- Potence, noix et pince pour la future lame,
- Lames porte-objet pour microscope de $e_{tab} = (160 \pm 5)\mu m$ d'épaisseur à $\lambda = 589nm$ qui se trouvent dans le bureau des techniciens.

Etapes :

- (Préparation) Tout d'abord il faut utiliser la procédure habituelle de réglage du Michelson avec le laser, la lampe à sodium, puis la recherche du contact optique en lame d'air avec la lampe à sodium, puis en coin d'air avec la frange sombre en lumière blanche.
- (Préparation) On effectue ensuite avec la lampe à sodium un étalonnage de la différence de marche obtenue lorsque l'on tourne la vis de réglage de la compensatrice⁶ en fonction du nombre de tours. Nous avons compté 50 ± 2 franges pour deux tours de vis soit une différence de marche $\delta_{etalonnage} = (50 \pm 2) \times 589nm$.
- On se remet en lumière blanche au contact optique grâce à la vis et désormais on introduit une lame dans l'interféromètre que l'on fixe et l'on introduit ainsi une différence de marche $\delta = 2(n_{lame} - 1)e$.
- On tourne la compensatrice jusqu'à retrouver le contact optique et sa frange noire en comptant le nombre de tours. Une règle de 3 nous permet ensuite de trouver $e_{exp} = nbredetours \times (50 \pm 2)\lambda / (2 \times (n_{lame} - 1))$.
- Nous avons finalement trouvé $e_{exp} = (153 \pm 7)\mu m$ ce qui est encourageant pour $e_{tab} = (160 \pm 5)\mu m$.

6 Questions

- Durée de l'impulsion émise par la diode laser ? $\Rightarrow 10ns$.
- Sur la photo diode $f < 3Mhz$? \Rightarrow Il y a deux sorties correspondant à deux gammes de fréquences utilisables et la fréquence peut être supérieure.

6. Le réglage est plus fin avec la vis de la compensatrice qu'avec la vis du chariot.

- Quelle est la nature du signal émis par la photodiode? \Rightarrow C'est un courant car α à une puissance lumineuse.

7 Remarques

- En passage beaucoup de temps passé sur les incertitudes, par exemple j'ai parlé du et utilisé le coefficient de student, ce qui n'est peut-être pas nécessaire mais je trouve personnellement que c'est nécessaire sur un montage comme celui-ci,
- Première manipulation indispensable car illustre la définition du mètre,
- Bien de faire une mesure de longueur par diffraction.

Autres manip possibles :

- Câble coaxial : mesure de la longueur du câble,
- Mesure d'une longueur d'onde optique ou sonore mais Jean me l'avait déconseillé car ça rentrerait déjà dans le cadre du montage 'Spectrométrie optique',
- Pas d'un cd, dvd, blu-ray ou d'un tissu par diffraction,
- En grande ondes, signal que l'on émet et reçoit, comparé à celui reçu d'un satellite pour évaluer la distance Terre-satellite, donne un bon ordre de grandeur même si l'atmosphère n'est pas homogène.