MP26 - Mesures de longueurs

May 16, 2019

Contents

- 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 : 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 « boites noires », il est indispensable de connaître leur fonctionnement.
- 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.

Références :

- BUP 737 ou BUP 830 si il y a des doutes pour la triangulation.
- Montages de physique au CAPES, Bellier pour la parallaxe et la télémétrie
- Jolidon

Attention aux incertitudes qui sont centrales. Bien préciser qui est l'étalon que l'on prend à chaque fois et comment on mesure cette longueur étalon.

Introduction

Ceci est un montage de métrologie[1]. Il s'agit donc de comparer la longueur que l'on souhaite mesurer à une longueur arbitraire connu : l'étalon. Le choix d'une référence avant de réaliser la mesure à proprement parler est donc une nécessité.

Dans ce montage, on verra comment mesurer des longueurs à différentes échelles.

[1] Mesurer, c'est l'action de comparer une grandeur physique avec une autre, l'étalon, que l'on choisit comme "unité".

1 Mesures de grandes distances : $\in [1\,m - -\infty]$

1.1 Triangulation :

Voir Belier ou BUP 737 ou BUP 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.

1.1.1 Principe

On fait de la trigonométrie : Les deux goniomètres ont des lunettes parfaitement alignées à la distance L connue très précisément. On tourne l'entrée du goniomètre pour pouvoir viser un objet lointain (drapeau, croix, ...)
On note α et β les angles que forment les lunettes et oculaires des goniomètres.
On cherche en fait la distance h entre la droite passant par les deux goniomètres et l'objet lointain; Il s'agit de la longueur de la hauteur du triangle formé par l'objet et les deux goniomètres et dont α et β sont les angles à la base.

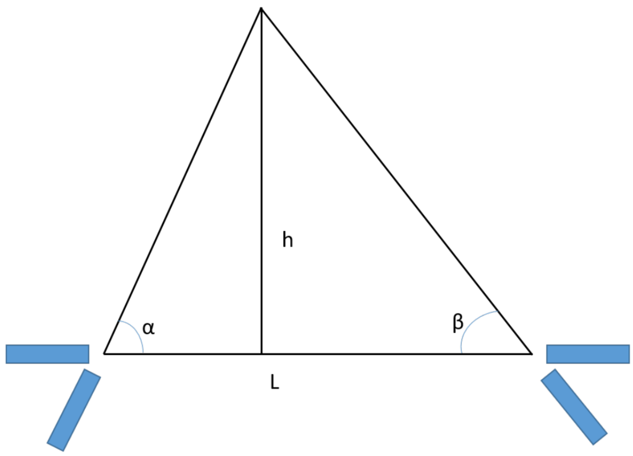

Figure 1: Courage les triangles ont autant peur de nous que nous avons peur d'eux. Figure tirée du poly de Antoine Essig et Louisiane Devaud

Le calcul donne :

$$L = \frac{h}{\tan(\alpha)} + \frac{h}{\tan(\beta)} \tag{1}$$

donc :

$$h = L\left(\frac{\tan(\alpha)\tan(\beta)}{\tan(\alpha)+\tan(\beta)}\right) \tag{2}$$

Cette mesure est présentée comme une mesure de grandes longueurs. On peut par exemple s'en servir pour déterminer la distance à une étoile proche. La théorie du calcul ne nécessite aucune hypothèse a priori sur la distance. En revanche, la réalisation devient problématique pour des étoiles trop lointaines : les angles tendent alors vers $\pi/2$, ce qui place dans la situation où les incertitudes deviennent trop grandes pour que la mesure reste faisable.

On s'en sert pour trouver les distances des planètes à la Terre dans le système solaire. Il faut qu'il y ait un mouvement apparent de l'astre. La Terre bouge et occupe plusieurs positions successives. Connaître les différents angles à différentes heures permet donc de trouver la

distance entre l'astre et nous.
En lien avec cette expérience, il peut être utile de savoir définir le parsec : Historiquement, le parsec est défini comme la distance à laquelle une unité astronomique (ua) sous-tend un angle d'une seconde d'arc. Autrement dit, la distance à partir de laquelle on verrait la distance terre-soleil comme une minute d'arc.

1.1.2 Étalon

On prend ici la distance entre les deux goniomètres L mesurée au mètre ruban.

1.1.3 Expérience :

Le but de la manip est 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

Experience :

- **Réglage :**
  - Aligner les lunettes des oculaires
  - Dans chaque lunette, il y a une croix appelée "réticule". Régler les oculaires de chaque goniomètre pour voir sa croix nette.
    Ne plus toucher aux mises au point des oculaires par la suite.
  - Il faut ensuite aligner les goniomètres en les disposant à une certaine distance L (qu'on mesurera une fois le tout fait). Par exemple, les disposer de part et d'autre de la paillasse du professeur.
    On commence par les aligner à l'oeil (sans regarder dedans...).
  - placez les vis des objectifs à mi-course. On en choisit alors un pour regarder dedans. On cherche alors le réticule de l'autre dans un plan quelque part entre les deux goniomètres.
    On regardera toujours dans le même goniomètre pour la suite de l'alignement
  - Ensuite on fait la mise au point (tourner sur le devant) de la lunette du goniomètre choisi de manière à superposer le réticule de la lunette de l'autre goniomètre à celui de la lunette dans lequel on regarde.
    Pour mieux voir et superposer les croix, on peut éclairer derrière la lunette dans la quelle on ne regarde pas Normalement, un mur blanc peut suffire. (QI+ anti-calorique + dépoli si non....)
- Noter α_0 et β_0 les angles que font les lunettes et les oculaires. Ils définissent le zéro.
- On tourne les lunettes pour viser le point dont on veut connaître la distance et on mesure les deux angles α_m et β_m entre lunettes et oculaires.

On n'oublie pas de mesurer la distance L entre les deux centres des goniomètres. C'est la distance entre les centres des deux plateaux

On trouve alors les angles recherchés :

$$\alpha = \alpha_m - \alpha_0 \qquad \beta = \beta_m - \beta_0 \tag{3}$$

On en profite pour calculer h :

$$\boxed{h = L\left(\frac{\tan(\alpha)\tan(\beta)}{\tan(\alpha)+\tan(\beta)}\right)} \tag{4}$$

1.1.4 Incertitudes

Sources :

- Mesure de L au mètre à ruban. Idéalement $1/\sqrt{12}$. Mais hélas, je pense qu'on aura plutôt dans les $2\,cm$ car il faut savoir mesurer les centres des gonios qui sont loin, le ruban est flexible...
- α La lecture au vernier est assez précise (1 graduation / $\sqrt{12}$) Il faut la compter deux fois une pour α_m et une pour α_0
- i la mesure de la distance d'une étoile prochedem sur β

En fait on peur réécrire :

$$\boxed{h = L\frac{1}{\left(\frac{1}{\tan(\alpha)}+\frac{1}{\tan(\beta)}\right)}} \tag{5}$$

Il faut faire attention car la relation est non triviale. :

$$u[1/tan(\beta)] = \frac{\partial[1/\tan(\beta)}{\partial\beta} \times u(\beta) = \frac{1}{\sin^2(\beta)} \times u(\beta) \tag{6}$$

du coup :

$$u(h) = h \times \sqrt{\left(\frac{u(\beta)\tan(\beta)}{\sin^2(\beta)}\right)^2 + \left(\frac{u(\alpha)\tan(\alpha)}{\sin^2(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2} \tag{7}$$

A noter, l'incertitude devient très grande lorsque les angles tendent vers $\pi/2$... Pas top pour les étoiles lointaines.

1.2 Télémétrie :

Jolidon p520
Plus simple à réaliser : On mesure le temps de parcours entre un signal émis et réfléchi et on le convertit en distance parcourue, connaissant la vitesse de l'onde.

1.2.1 étalon

C'est la longueur d'onde de l'onde que l'on envoie qui dépend donc et de la température et de la fréquence.

1.2.2 En préparation :

Expérience :

Utiliser le protocole donné dans le point suivant.
Pour cette mesure, tracez une droite d'étalonnage de Δt en fonction de d, que vous mesurerez alors au mètre de maçon. Vous aurez forcément un offset, que nous discutons dans le point suivant. 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). **Ne pas prendre le début du paquet d'onde.**

Les remarques qui suivent sont issues du poly de Léo Mangeolle et Lauren Rose :

"D'où vient l'offset ? D'une part, on ne sait pas exactement où se trouvent les piézoélectriques dans l'émetteur et le récepteur, ça c'est évident. Mais surtout, de la fonction de réponse des piézoélectriques ! (détaillée à la fin du Duffait capes)"

"D'où vient l'étalement du paquet d'ondes ? La chose à ne pas dire est « de la dispersion dans l'air », parce que les ultrasons sont très très bien décrits par d'Alembert. Corollaire : on ne pointe pas le maximum du paquet d'ondes en sortie parce que c'est le point qui se déplace à la vitesse de groupe (ce qui est effectivement la bonne chose à faire si on veut déterminer c dans un câble coax, mais pas ici...), mais parce que c'est un point de repère honnête et reproductible. D'où l'intérêt de tracer une droite d'étalonnage : peu importe ce que font les piézoélectriques, ça finira dans l'offset et la pente de la droite sera correctement donnée par la célérité du son dans l'air."

"De même, prendre comme point de repère le début de montée du paquet d'ondes est d'une part imprécis, d'autre part arbitraire, enfin absurde. En effet, ce qu'on veut mesurer, c'est le temps de propagation après la sortie de l'émetteur et avant l'entrée dans le récepteur : l'émetteur a déjà retardé (et déformé) le signal, et ce d'une façon compliquée qui n'est pas l'objet de ce montage, et donc pour autant qu'on sache le tout début du paquet d'onde peut bien avoir pris un retard d'une heure dès la sortie de l'émetteur, et encore une heure à l'intérieur du récepteur. Si on trace une droite d'étalonnage, tout ça finira dans l'offset et ça ira beaucoup mieux."

"Point culture : en vrai on peut utiliser ça pour mesurer des longueurs bien plus grandes, par télémétrie optique avec un laser : typiquement, la distance Terre-Lune."

1.2.3 Expérience devant le Jury :

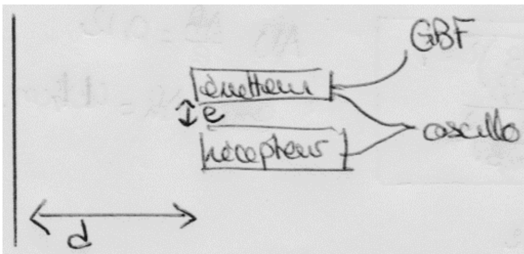

Figure 2: Figure tirée du poly de Antoine Essig et Louisiane Devaud

Expérience :

- On mesure la température et on l'écrit sur le jeu de donnée
- On place un détecteur et un émetteur[a] côte à côte à une distance d d'une plaque. Attention, prendre une planche toute droite et pas un écran d'optique dont le pied serait capable de donner lieu à des réflexions parasites.
- on envoie des burst de fréquence 40 kH avec un GBF séparés de 10 ms.
- on mesure le temps de retard Δt sur l'oscilloscope.

On n'oublie pas de mesurer la distance d_{comp} à la règle, on pourra comparer comme ça.

[a]Ils fonctionnent avec des piézoélectriques car les hauts parleurs ont à bobines ont trop d'inertie pour atteindre de telles fréquences.

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 :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \qquad donc\ :\ \frac{u(c)}{c} = \frac{1}{2}\frac{u(T)}{T} \tag{8}$$

où $M = 28,97610^{-3}\ g \cdot mol^{-1}$, $\gamma = 1.4$ [2] et $R = 8.314\ J \cdot K^{-1}$
L'onde a parcouru un aller-retour donc :

$$d = \frac{c\ \Delta t}{2} \tag{9}$$

On peut comparer avec d_{comp}...

1.2.4 Incertitudes

Sources :

- Sur c parce qu'on a une incertitude sur T. C'est une règle à lire donc : 1 graduation/$\sqrt{12}$
- Sur Δt à estimer à l'oscilloscope. C'est à cause de la forme bizarre[3] du signal qui revient.
- Mesure de d_{comp} au mètre à ruban. Donc pour le coup $1/\sqrt{12}$.

Sans complications :

$$u(d) = d \times \sqrt{\left(\frac{u(T)}{2\,T}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2} \tag{10}$$

1.2.5 Attention !!!

[2]hypothèse : Gaz parfait diatomique

[3]**Surtout n'allons pas dire de bêtises : les signaux sont moches parce qu'il y a la réponse des capteurs et émetteurs dessus.**

Cette mesure seule ne suffit pas. Voir les remarques précédentes. **Je conseille de faire la mesure naïvement devant le Jury puis leur montrer la courbe $\Delta t(d)$ faite en préparation. Puis montrer qu'on ne passe pas par zéro. L'offset nous indique que l'on a une erreur systématique dans notre mesure qui vient du fait qu'on ne sait pas où sont exactement les émetteurs et détecteurs dans les appareils. A priori, la valeur de d obtenu est une valeur sous-estimée.**

2 Mesures de petites distances : $\in [10\,\mu m - -100\,\mu m$

2.1 Mesures spectroscopiques :

2.1.1 Materiel

- Spectromètre HR4000[4],
- michelson,
- lame de verre P16.32.

2.1.2 Expérience :

Cette methode se rapproche beaucoup de celle utilisée dans la première partie de *MP13- biréfringence*. Mette le michelson sur sa propre table (vibrations) !

Experience :

- On règle le Michelson en lame d'air[a] à face parallèle au contact optique en lumière blanche.
- On rajoute la lame de verre sur un des bras et on observe le spectre[b] de la lumière au spectrométre.
- Des annulations apparaissent[c] dans le spectre, on mesure pour deux annulations la longueur d'onde λ_1 et λ_2 et on compte le nombre p d'annulations entre les deux.
- Bien étalonner le spectre. Attention, il a tendance à se débrancher. Garder les valeurs prêtes à être copiées-collées en catastrophe...

[a]Réglez le Michelson au contact optique en coin d'air dès le début, et notez le contact optique dans un coin ; vous pouvez commencer par mesurer l'épaisseur de la lame de verre au vernier (en charriotant pour retrouver le contact optique dans l'image de la lame) si vous sentez que vous avez le temps.

[b]N'oubliez pas de focaliser, en sortie du Michelson, sur la fibre optique. Le réglage de la fibre est un peu délicat, si vous n'obtenez rien en sortie du spectro c'est probablement parce que vous ne visez pas précisément dans la bonne direction. Persévérez un peu. C'est plus facile en plaçant l'entrée de la fibre dans l'image de la lame, car la figure de cannelures est plus caractéristique que les bosses diffuses qu'on

[4]Antoine Essig et Louisiane Devaud isent : 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.

observe dans l'image des teintes de Newton. Cherchez d'abord la bonne orientation en baladant la fibre à la main, avant de la fixer dans une pince.

[c]Attention à la terminologie : bandes, raies, franges, cannelures. Au spectromètre, ce sont des cannelures. Sur l'écran, ce sont des franges.

2.1.3 Calcul

On a des annulations quand la diffément de marche vaut

$$\delta k = 2q\pi \quad donc\ : \quad \underbrace{2}_{(aller-retour)} \times (n_{verre} - n_{air})e \times \frac{2\pi}{\lambda} = 2q\pi \tag{11}$$

Donc :

$$e = \frac{p}{2 \times (n_{verre} - n_{air})} \times \frac{\lambda_1 \lambda 2}{\lambda_2 - \lambda_1} \tag{12}$$

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

2.1.4 Incertitudes :

Sources :

- sur n_{verre} l'indice du verre... **on suppose que l'indice ne varie pas avec λ** Il est donné par le constructeur des lames de Verre.
- Sur λ_1. Généralement, il y a un peu de bruit. On ne voit pas un pic vers le bas mais un plateau bruité. Il faut alors estimer l'incertitude sur la détermination de λ_1 comme la demi largeur de ce plateau.
- idem pour λ_2
- Pas d'incertitude sur p mais il vaut mieux compter deux fois pour être certain...

2.1.5 Attention !!!

Cette mesure spectroscopique a une précision diabolique, supérieure à celle donnée par le constructeur. Il faut absolument noter à la fois **l'épaisseur tabulée** des lames et **l'incertitude constructeur**, qui sera plus grande que celle sur notre mesure. Si les techniciens donnent une boîte sans ces valeurs, changez de boîte.

Comparer la valeur constructeur à celle trouvée par la méthode spectroscopique.

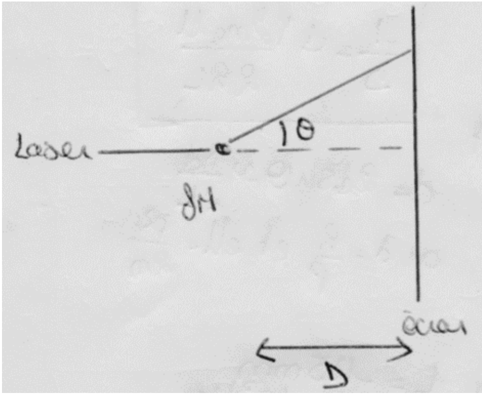

Figure 3: Figure tirée du poly de Antoine Essig et Louisiane Devaud

2.2 (optionnel) Diffraction de la lumière :

Jolidon p223
Matériels : laser He-Ne, plusieurs fils[5] de diamètres connus, un écran.

Il est bon de savoir que c'est de la diffraction de Fran Hoffer approchée. Théoriquement la formule n'est valable que pour des ondes planes à l'infini. Ici c'est un faisceau gaussien à environ 50cm de la sortie[6]

Terminologie franges. Ici on diffracte, ce ne sont pas exactement des franges (dixit Marc Vincent) donc il faut trouver un autre nom. Je propose "tâches". l?interfrange est I et sépare deux taches ou deux bandes sombres... A part à la tâche centrale qui fait $2I$.

$$\frac{\lambda}{d} \approx \theta \approx tan(\theta) = \frac{I}{D} \tag{13}$$

On a :

$$d = \frac{\lambda D}{I} \tag{14}$$

2.2.1 Expérience :

Experience :

- 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 d. Attention centrale (elle mesure $2I$)

En préparation, Tracer pour plusieurs fils d connus la droite $d(1/I)$. Elle a pour pente $a = \lambda D$

Devant le Jury, on a un fil de diamètre mystérieux d... on veut connaître sa taille : on

[5] Si les fils sont courbes, la figure de diffraction sera dissymétrique. Prendre des fils aussi droits que possible.
[6] Le faisceau laser étant quasiment une onde plane dans la zone de Reyleigh qui est de l'ordre de 30cm

mesure I et on utilise la droite[7] pour remonter à d :

$$d = a * \frac{1}{I} \tag{15}$$

2.2.2 Etalon :

Ici, ce sont tous les fils de diamètre d qui nous servent d'étalons. On ne les prend pas en compte dans les incertitudes.

2.2.3 Incertitudes :

Sources :

- I qui est mesurée à la règle. donc $1mm/\sqrt{12}$
- a des incertitudes de type A donnée par le fit.

Bon :

$$u(d) = d \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2} \tag{16}$$

3 Mesures de petites distances : $\in [10\,\mu m - -100\,\mu m$

3.1 Diffraction des électrons :

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

3.1.1 Principe :

Le but de cette expérience est d'estimer les paramètres de maille des couches de graphène qui composent le graphite, par diffraction d'électrons sur poudre (méthode de Debye-Sherrer). Il serait possible d'observer la diffraction avec des ondes électromagnétiques, mais cela requiert des rayons X durs qui sont ionisants et très dangereux pour l'être humain. Le dispositif que nous avons à disposition ne présente pas cet inconvénient et permet une observation aisée du phénomène. Ceci est possible grâce à la nature ondulatoire des électrons, dont la longueur d'onde associée est la longueur d'onde de De Broglie $\lambda = \frac{h}{p}$, où h désigne la constante de Planck et p l'impulsion des électrons.
Le dispositif étudié, schématisé, présente une anode et une cathode entre lesquelles les électrons produits par un filament chauffant sont accélérés, ce qui permet d'avoir un faisceau quasi-monocinétique et donc quasi-monochromatique. Si on note E_c l'énergie cinétique des électrons, U la tension accélératrice, e la charge et m la masse de l'électron, on a :

$$E_c = eU = \frac{p^2}{2m} \qquad donc\ :\ \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\,eU}} \tag{17}$$

Pour $U = 1\ kV$, on a $\lambda = 39\ pm$, ce qui est bien inférieur à la distance interatomique.

[7] C'estnormalement plus précis que de faire une seule mesure car on a remplacé nos incertitudes par celles sur la pente. On a donc dù en contrebalancer certaines.

Le faisceau électronique est ensuite focalisé à l'aide d'une électrode spécifique, puis envoyé sur une poudre de graphite. Celle-ci diffracte la lumière dans des directions bien précises par rapport au faisceau incident, données par la loi de Bragg :

$$\lambda = 2d\ \sin(\theta) \tag{18}$$

où d désigne la distance entre deux plans réticulaires, et θ l'angle de déviation par rapport au faisceau incident. L'objet diffractant étant une poudre, on observe une figure de diffraction composée d'anneaux. En faisant l'approximation des petits angles, le diamètre D des cercles est donné par la relation :

$$\lambda = d\frac{D}{2L} \tag{19}$$

où L est la distance entre l'objet diffractant et l'écran.Donc enfin :

$$\frac{1}{D} = d\frac{\sqrt{2m\,eU}}{2hL} \tag{20}$$

Expérimentalement, on mesure donc le diamètre des cercles de diffraction pour différentes tensions accélératrices U .

3.1.2 Expérience :

Faire quelques points en préparation et un devant le Jury.

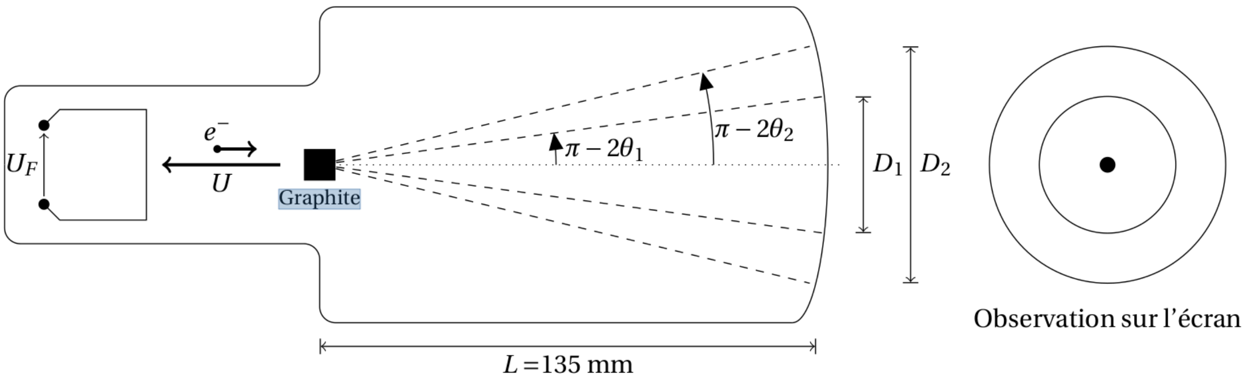

Figure 4: Schéma du tube pour la diffraction électronique par la poudre de graphite.

Experience :

- **Branchement :**
  - Tenir le tube de diffraction P93.6 à l'horizontale et le tourner de façon à ce que les deux broches les plus éloignées du culot soient orientées vers le bas. Introduire doucement le tube jusqu'en butée dans le support pour tube P93.1.
  - 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 posiitif, et relier le pôle positif à la terre.

  Vérifier le bon branchement sur la notice avant de mettre en marche l'alimentation !

- Allumer l'alimentation et observer la direction du faisceau.[a]
- Appliquer une tension $U \leq 5\ kV$ et observer la figure de diffraction. L'écran est bombé car l'ampoule est sous vide, ce qui rend la mesure délicate. Pour mesurer le diamètre D des cercles, on utilise alors une grille P127.2. Pour différentes tensions U prendre en photo la figure de diffraction et la grille plaquée (doucement) sur le tube de verre. Sur Image J, relever le diamètre des deux cercles (on prendra pour étalon le pas de la grille, de $1\ mm$ a priori). [b]
- ou simplement à l'oeuil avec une feuille de papier millimétré; Non ??
- La tension est mesurée sur l'affichage de l'alimentation[c][d].

[a]Vérifier en approchant un aimant en U P63 que le faisceau est dévié : il s'agit bien de particules chargées.

[b]Léo propose : "Pour mesurer le diamètre des anneaux, au lieu d'utiliser un papier millimétré scotché plus ou moins maladroitement sur l'extrémité courbe de la bouteille, il est préférable d'utiliser un pied à coulisse (et de ne pas appeler ça un Palmer). Attention, si votre pied à coulisse est aimanté (pour une raison encore mystérieuse), changez-en ou arrangez-vous pour qu'il dévie suffisamment peu les électrons pour que [cela n'influence pas trop la mesure]"

[c]les multimètres que nous avons ne supportant pas de tension supérieure à $1\ kV$ **(!!)**

[d]Apparement, on a des kilovoltmètres dans la collection. Mais on se prend le jus dès qu'on y touche. Je défendrai que pour la sécurité, il ne vaut mieux pas les prendre.

On trace $1/D$ en fonction de $\frac{\sqrt{2m\,eU}}{2hL}$. Avec :

- $m = 9,11 \times 10^{-31}\ kg$ désigne la masse de l'électron ;
- $e = 1,60 \times 10^{-19}\ C$ désigne la charge élémentaire ;
- $h = 6,63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$ désigne la constante de Planck ;
- $L = 135\ mm$ désigne la longueur du tube. (cf notice)

On attend une pente[8] égale à d .

On observe deux anneaux qui correspondent aux deux premières familles de plans réticulaires du graphène dont les valeurs tabulées sont $d_1 = 213\ pm$ et $d_2 = 123\ pm$ (on a géométriquement un rapport 3 entre les deux).
Les autres familles de plans réticulaires donnent des anneaux trop petits et qui sont confondus avec la tâche centrale (la distance interréticulaire[9] entre deux plans de graphène est de $671\ pm$).

3.1.3 Incertitudes :

Source :

[8]Ces anciens disent : "Nos mesures donnent toujours une valeur de pente inférieure de 5% à la valeur attendue (pour les deux droites). Après discussion avec Hervé Gayvallet, il est probable que cela vienne de la tension d'accélération des électrons, inférieure à celle mesurée pour une raison ou pour une autre. Comme U apparaît sous une racine dans la formule, le fait que nos droites soient effectivement des droites, et ne soient pas déformées, indique bien qu'il s'agit d'un facteur multiplicatif et pas d'un offset. Problème ouvert."

[9] il existe une infinité de plans parallèles entre eux et regroupés en une famille de plans réticulaires. La distance interréticulaire est la plus courte distance entre deux plans de la famille

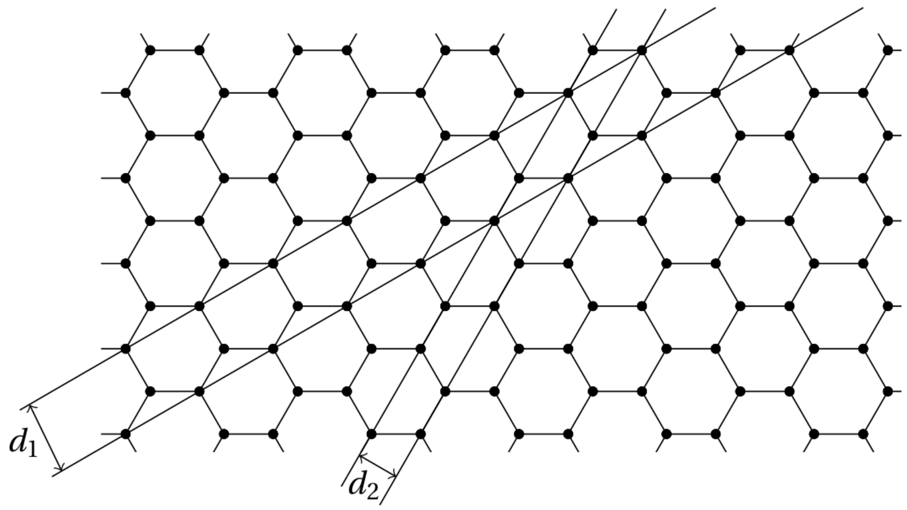

Figure 5: Plans réticulaires sur le graphite.

- U, je ne sais pas comment bien l'estimer. Si kilovoltmètre, utiliser la notice, si non, essayer d'estimer la précision de la molette sur le générateur.
- L donné par le constructeur. On pourrait mesurer au pied à coulisse pour comparer à la donnée fabriquant et donner une valeur.
- Une **énorme** sur les D vu que le verre est courbe.
- Sur la valeur du fit de la droite de pente a. C'est celle qu'on utiliser dans le calcul. elle est de type A et tiend compte aussi des autres.

$$u(d) = d \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2} \tag{21}$$

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 μm 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.

4 Annexe

4.1 Rappels métrologiques :

Quand on fait une mesure, on cherche à atteindre la valeur vraie. On obtient une valeur mesurée.

- La justesse J, Une mesure est d'autant plus juste que la moyenne (sur un grand nombre de mesures) des valeurs mesurées $\langle v \rangle$ est proche de la valeur vraie V :

$$J = \langle v \rangle - V \tag{22}$$

- La fidélité quantifie la dispersion des mesures autours de la valeur moyenne . Une mesure est fidèle lorsque la valeur mesurée est toujours la même.

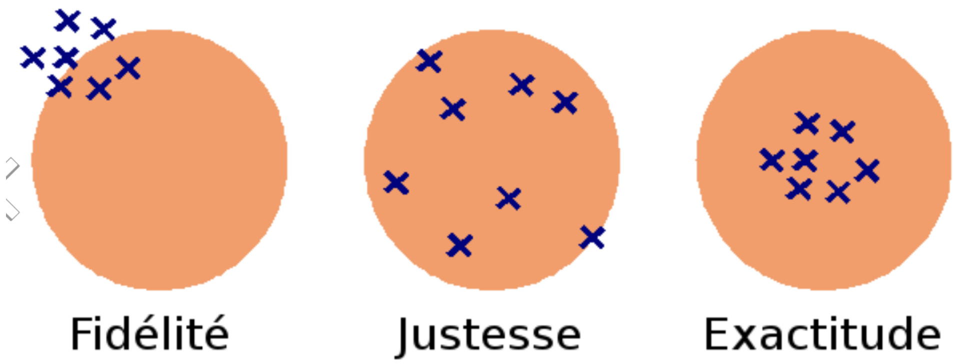

Figure 6: Par Original téléversé par Romary sur Wikipédia français. https://commons.wikimedia.org/w/index.php'curid=20708965

Exemple : Si je fa

$$u(d) = \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 d} \tag{23}$$

is un capteur qui donne toujours $1\,V$ en sortie, il est très fidèle mais peu juste.

Un capteur est **précis** si il est à la fois fidèle et juste.

4.2 Questions type :

- En application de la méthode de la parallaxe, définir "géométriquement" le parsec, en introduisant l'unité astronomique (UA) ?
  Image sur Wikipedia

-
  - Quel type de vitesse mesure-t-on dans l'expérience du télémètre acoustique ?
    vitesse de groupe je pense puisqu'on envoit un pulse.
  - Quel dispositif est utilisé sur la Lune pour réfléchir le faisceau laser lors des campagnes de « tir » pour déterminer avec précision la distance Terre-Lune ?
    Un miroir en coin de cube.

- Définir les notions de frange centrale, de frange achromatique ? Peux-t-on les confondre ? Quelle incertitude commet-on ?

La position de la frange centrale à p = 0 ne dépend pas de la longueur d'onde. Dans le cas d'ondes polychromatiques qui interfèrent entre elles, cela implique que la frange d'ordre zéro est la même pour toutes les longueurs d'onde. On nomme cette frange la « frange blanche » ou « frange achromatique »

- Comment varie l'indice du verre avec la longueur d'onde ?
  Loi de Cauchy :
  $$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \tag{24}$$
- Préciser les conditions de validité de la loi de Bragg ? Bien savoir justifier la forme des anneaux observés ainsi que l'origine de l'épaisseur « du trait ».
  On considère qu'on arriv en incidence normale parrapport aux plans du cristal.
  dispersion des vitesses des électrons $\longrightarrow$ les anneaux bavent (cf la loi D(U) dans la partie théorie.