

Testons la vitesse de la lumière

G. Paturel et P. Valvin,
Observatoire de Lyon

Georges Paturel nous raconte avec beaucoup d'humour comment deux physiciens curieux ont imaginé un dispositif ingénieux leur permettant d'expérimenter de manière palpable la finitude de la vitesse de la lumière.

S'inspirant des expériences historiques de Foucault et Fizeau mais en utilisant les outils électroniques modernes ils ont réussi à mesurer, avec une précision honorable cette vitesse. C'est dans un vieux tunnel désaffecté qu'ils ont installé leur montage .

La mesure de la vitesse de la lumière a joué un rôle privilégié dans l'histoire des sciences. Elle a excité les imaginations et continue de le faire même si le problème ainsi posé a perdu son sens depuis qu'une convention fixe la vitesse de la lumière à une valeur bien déterminée :

$$c = 299792,459 \pm 0.0012 \text{ km.s}^{-1}$$

A défaut de faire la mesure pour améliorer la connaissance de c , il est envisageable de refaire les expériences historiques de Foucault ou de Fizeau. L'aventure a souvent été tentée mais souvent sans succès car ces expériences ne sont pas faciles à bricoler. Faute de mesurer c , on mesure au moins le génie de nos glorieux prédécesseurs qui devaient rivaliser d'ingéniosité pour surmonter les difficultés innombrables. Car la lumière va vite... très vite.

Nous avons voulu nous lancer dans l'aventure à notre tour mais en utilisant les moyens électroniques modernes : un laser modulable, un générateur de signaux pour moduler le laser, un récepteur optique, un

oscilloscope à deux voies, quelques alimentations électriques de laboratoire et... un tunnel.

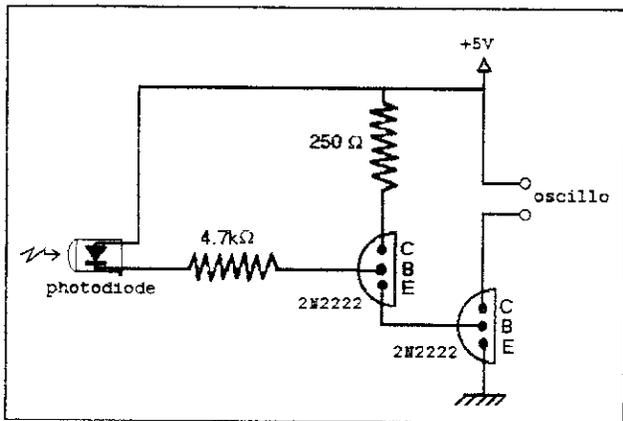
Nous allons décrire l'expérience et vous livrerons les résultats bruts et les commentaires qu'ils nous inspirent.

Description de l'expérience

Le principe de l'expérience se comprendra aisément. Un laser est placé à l'entrée du tunnel sur un bâti bricolé avec quelques tubes en PVC et quelques planches (pour la petite histoire ce tunnel servait jadis aux astronomes expérimentateurs de l'observatoire de Lyon mais il a été relégué au rang de fourre-tout sale et insalubre. Il a du être satisfait de nous voir débarquer avec notre appareillage).

Le faisceau lumineux du laser est modulé à l'aide d'un générateur de laboratoire. Il faut dire que ce laser était prévu pour ça. Le signal sinusoïdal de modulation est envoyé à l'entrée de modulation du laser. A l'autre bout du tunnel nous avons placé un miroir supporté par un autre bâti

bricolé. Le faisceau revient donc en écho vers le laser après avoir fait un aller et retour dans le tunnel. Ce faisceau réfléchi est alors capté par un récepteur optique composé d'une photodiode rapide et d'un petit amplificateur de notre conception (schéma ci-dessous).



La sortie de l'amplificateur est envoyée sur l'entrée de l'oscilloscope. Il n'y a pas besoin de faire un dessin pour vous faire comprendre. Le principe consiste à faire la mesure pour deux positions de miroir séparées d'une longueur L . Si nous enregistrons sur l'oscilloscope le décalage dt entre les deux sinusoïdes correspondantes, la vitesse de la lumière s'obtient simplement par $c = 2.L / dt$.

Mais vous l'avez compris, c étant fixé par décret, la mesure dt ne conduit en fait qu'à la mesure de la longueur du tunnel $L = c.dt / 2$.

Vous pouvez vous demander pourquoi faire l'expérience dans un tunnel. C'est vrai que ce n'est pas rigoureusement indispensable (tout le monde n'a pas un tunnel à disposition). Il est cependant plus facile de détecter l'écho quand il n'y a pas trop de lumière parasite. Une autre remarque s'impose. Le fait de faire une mesure différentielle entre deux positions du miroir réflecteur nous permet de faire disparaître les déphasages que l'électronique introduit. Par expérience nous avons constaté qu'il était préférable d'utiliser une modulation sinusoïdale plutôt qu'une modulation par impulsions. A première vue il peut sembler plus facile de mesurer l'écart dt entre deux impulsions bien verticales. Malheureusement, l'impulsion reçue en écho n'avait pas la belle allure attendue ce qui rendait la mesure impraticable.

Nous avons réalisé un support laser réglable en direction et en inclinaison. Le miroir distant était également réglable en direction et en inclinaison. Le miroir proche était réalisé simplement à partir d'une feuille d'aluminium pliée à angle droit.

Une grande difficulté fut de recevoir l'écho sur le récepteur après la réflexion sur le miroir lointain. Le faisceau réfléchi subit une diffraction par le miroir et le retour ne se présente pas comme un beau spot illuminant la photodiode

réceptrice. Il faut être deux pour faire l'expérience. Le premier règle le miroir le second regarde l'oscilloscope et guide le réglage de l'orientation du miroir. Quand l'écho est reçu et qu'on voit une belle sinusoïde sur l'oscillo, le plus dur est fait. Reste à mesurer la longueur du tunnel au milieu des débris et des toiles d'araignées.

Signalons un dernier point de détail. Nous avons la possibilité d'envoyer directement sur une seconde trace de l'oscillo le signal du modulateur sinusoïdal (celui-là même qui est envoyé sur le laser). Nous pouvons ainsi mesurer le déphasage par rapport à une origine fixe. Le temps T était simplement la différence entre les deux



Le tunnel

Les résultats

Nous avons répété quatre fois l'expérience avec deux fréquences de modulation différentes (400 kHz et 200 kHz). La valeur de cette fréquence n'a normalement pas d'influence sur le résultat. Nous avons mesuré la longueur du tunnel (distance jusqu'au miroir lointain). Nous avons trouvé $L_2 = 90,18$ m. La distance jusqu'au miroir proche était de $L_1 = 0,50$ m.

C'est à dire $2L = 2(L_2 - L_1) = 179,36\text{m}$

Les déphasages par rapport à une origine arbitraire furent les suivants pour les quatre modulations (nous donnons les résultats, sans tricher, tels qu'ils furent obtenus) :

mesure modulation,

miroir M_1 ,

miroir M_2 ,

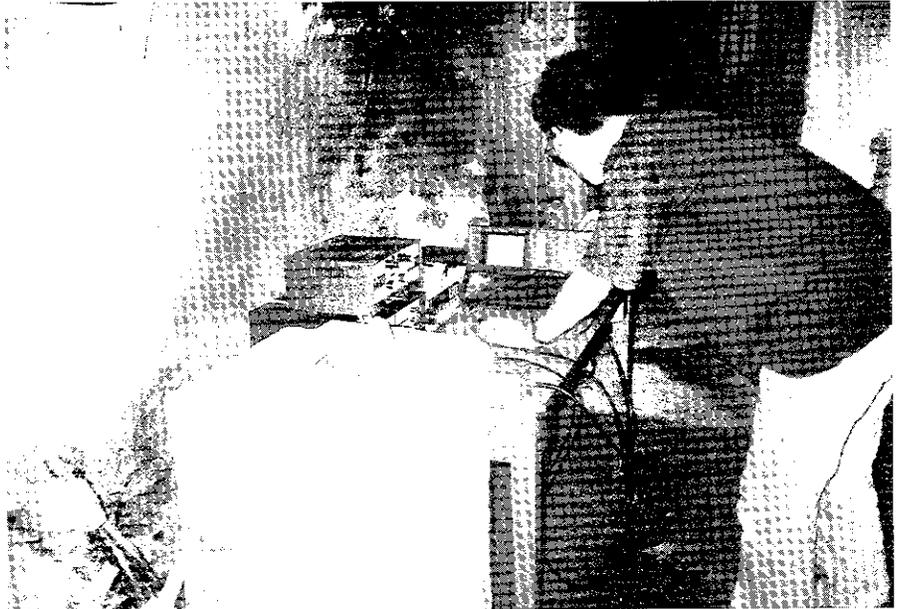
c

1400 kHz	1,60 μs	1,00 μs	299767 km/s
2400	1,66	1,10	399689
3200	2,55	1,73	218012
4211	2,30	1,65	276708

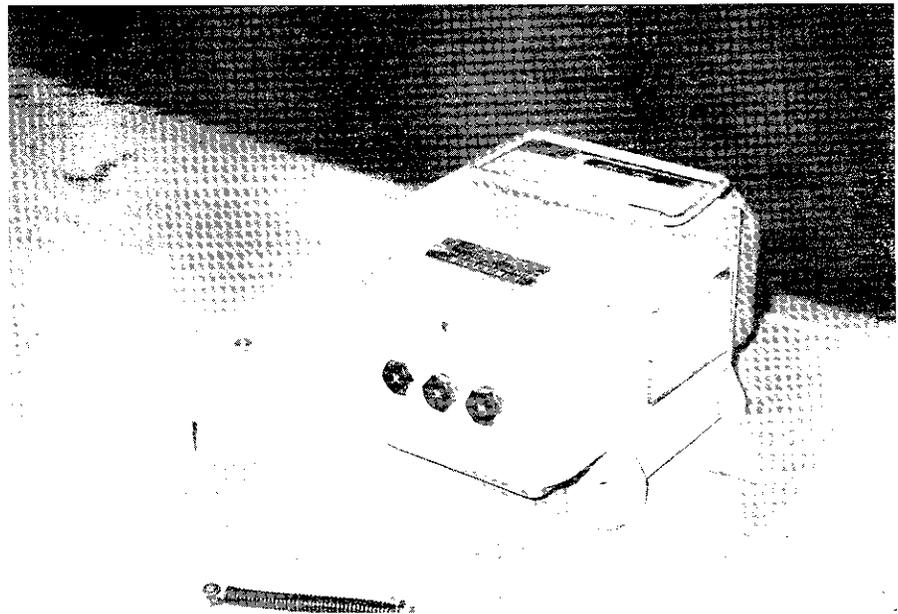
La valeur moyenne est donc : $c = 298544 \pm 38000 \text{ km/s}$.

La précision n'est pas "géniale" (environ 13%). Il serait possible de peaufiner la mesure du déphasage par des méthodes de superposition. On pourrait envisager aussi de cumuler les mesures sur un grand nombre de trajets aller et retour... bref, nous faisons confiance à votre imagination si l'expérience vous tente. A notre décharge (pour le manque de précision) nous devons dire que nous n'avons consacré que quelques jours à cette expérience. La mesure elle-même ne fut réalisée qu'au cours d'une seule veillée, à 23 heures, la veille du départ de l'un d'entre nous (PV) pour un voyage lointain.

Néanmoins, cette expérience nous a procuré une certaine émotion car nous avons pu percevoir la finitude de la vitesse de la lumière de manière très tangible ; une expérience à vivre pour un physicien !



l'appareillage



**Le miroir au bout du tunnel
(miroir collé sur un transformateur)**