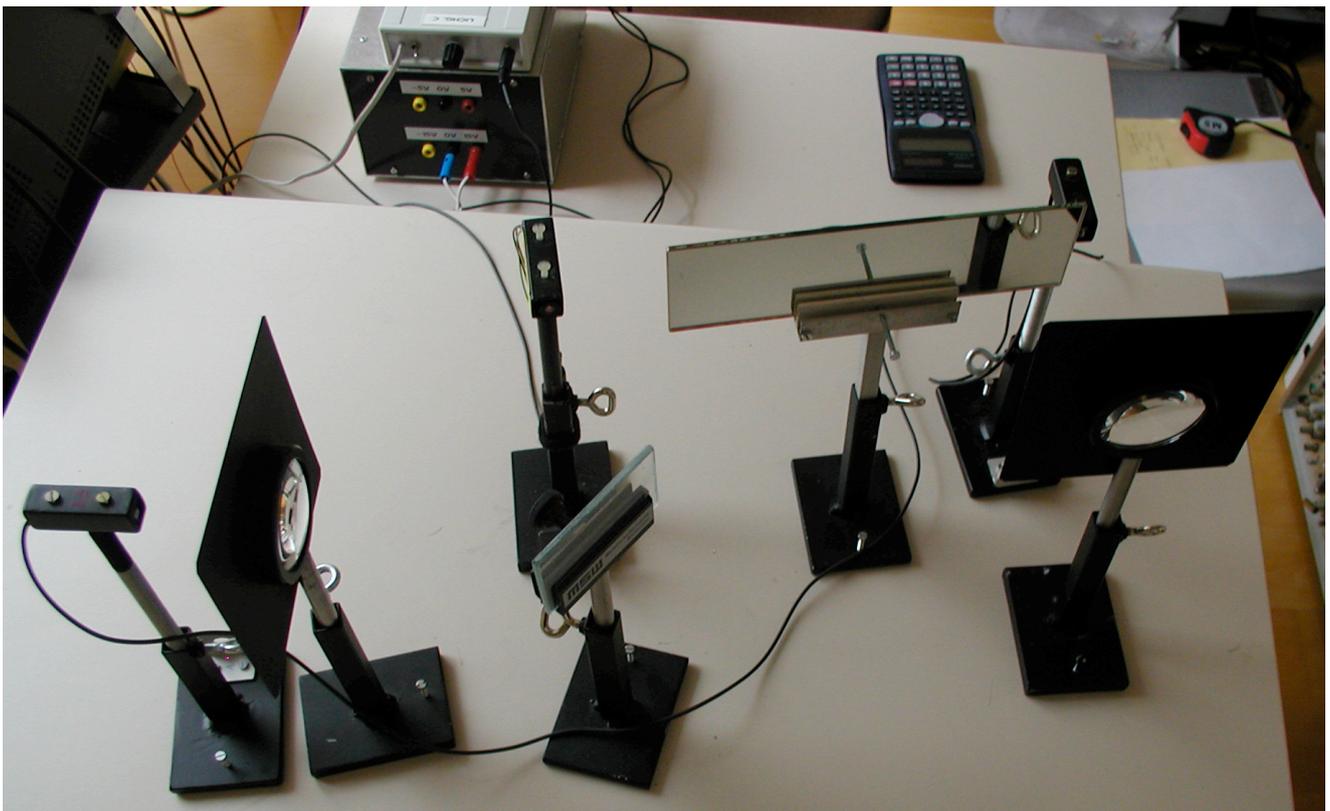


La mesure de la vitesse de propagation c de la lumière

Dr Franz Raemy

8/8/2005



1 Introduction

La mesure de la vitesse de propagation a une histoire mouvementée. Plusieurs méthodes permettent sa détermination. Ole Römer (1675) a observé la différence du temps nécessaire pour le trajet de la lumière émise par une des lunes du Jupiter si la terre est plus ou moins éloignée de cette lune. Armand Fizeau (1819-1896) a employé la roue dentée (1845) et un trajet suffisamment long pour déterminer la vitesse de la lumière. Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) l'a mesurée à l'aide du miroir tournant. Les expériences sont suffisamment décrites dans la littérature.

L'expérience qui va suivre et qui ne doit pas être obligatoirement très précise, elle doit d'être simple et compréhensible pour l'étudiant. Le but de notre variante de l'expérience est que l'on arrive à mesurer sans trop investir dans l'ajustement des composants.

La méthode est très simple. Le capteur BPW34 no 1 est placé derrière le diviseur du rayon en direction du rayon principal. Le capteur BPW34 no 2 est placé dans le rayon réfléchi par le diviseur du rayon. Par le potentiomètre à $100\text{ k}\Omega$ montré dans la figure 4, les maxima des signaux détectés sont mis en correspondance dans le temps. Ensuite, on place le détecteur no 1 derrière la lentille où la sonde mesure l'intensité de la lumière après le parcours multiple de la distance entre les miroirs. On mesure la dilatation du temps nécessaire pour le parcours d'un trajet bien déterminé par la lumière modulée et émise par un laser. L'oscilloscope utilise le signal de référence du capteur BPW34 no 2 comme temps de départ du rayon. La démarche permet de déterminer la dilatation du temps entre les maxima des deux signaux qui est nécessaire pour faire le trajet total. Les deux grandeurs chemin et temps permettent la détermination de la vitesse de propagation de la lumière.

2 Les composants dans l'expérience

La détermination de la vitesse de propagation de la lumière demande les composants suivantes:

- 1 Module à diode laser modulable par une impulsion à l'entrée de commande du laser LAS67/01-L (670 nm) ou LAS63/01-L (630 nm)
- 2 Alimentation 15 V
- 3 Un générateur d'impulsions et deux amplificateurs
- 4 Un oscilloscope: Hameg 60 MHz Oscilloscope HM605
- 5 Deux miroirs (15 cm x 5 cm)
- 6 Deux lentilles convexes
- 7 Diviseur du rayon (verre à vitres) avec une couche de mica perforé
- 8 Deux capteurs lumineux BPW34

3 Montage de l'expérience

La figure 1 nous montre le principe de l'expérience.

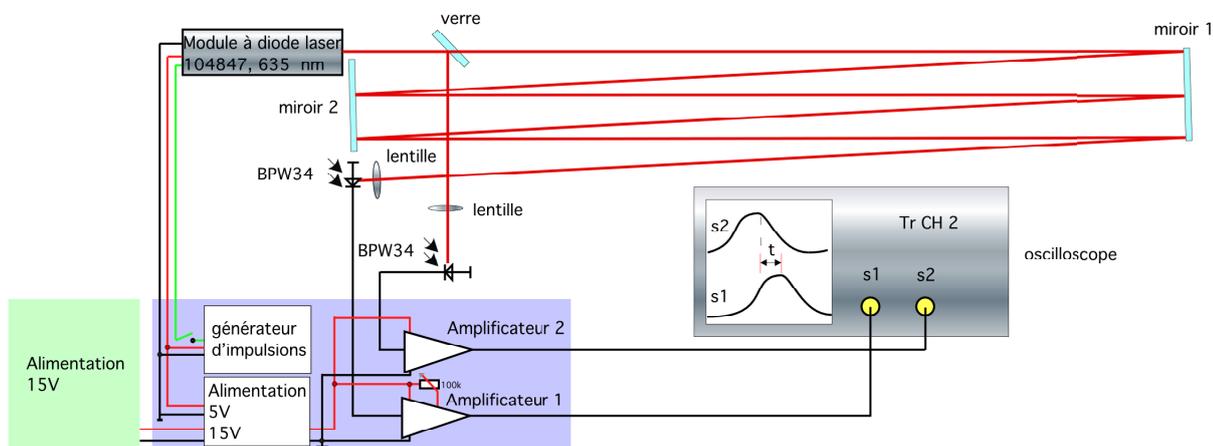


Figure 1 Le principe de l'expérience

4 Le générateur d'impulsions pour la modulation du rayon laser

Le générateur d'impulsions de la figure 2 consiste principalement du circuit intégré CD 4066 qui est un interrupteur quadruple. Le signal à la sortie est inversé par le transistor BC 550. Le signal à 80 kHz montré dans la figure 3 fait la modulation du rayon laser.

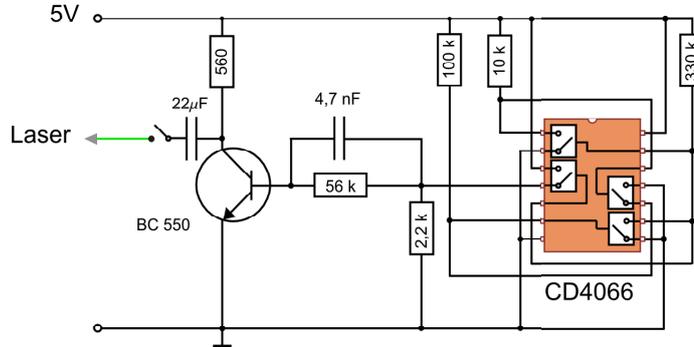


Figure 2 Le générateur d'impulsions

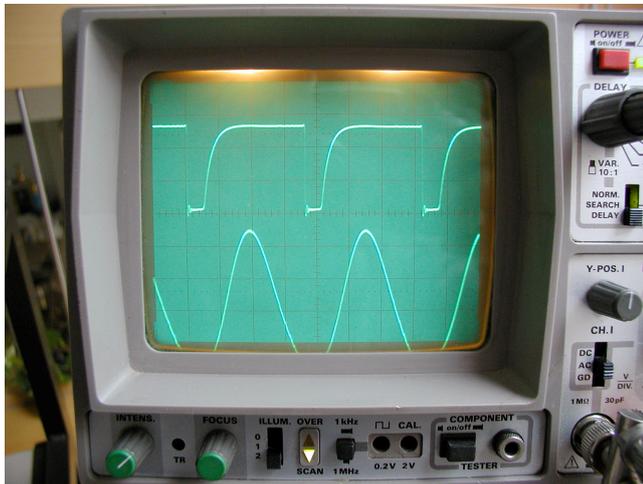


Figure 3 Canal 1 (en haut) le signal du générateur d'impulsions ($2V / Div ; 2 \mu s / Div$)
Canal 2 (en bas) le signal de la photodiode BPW34 no2

5 Amplificateur du signal du capteur lumineux

Les montages électroniques des amplificateurs pour les capteurs lumineux sont représentés à la figure 4. Le signal est amplifié par un seul transistor. Le potentiomètre du premier amplificateur permet l'ajustement de la phase des deux signaux après la distance de deux fois 0 m.

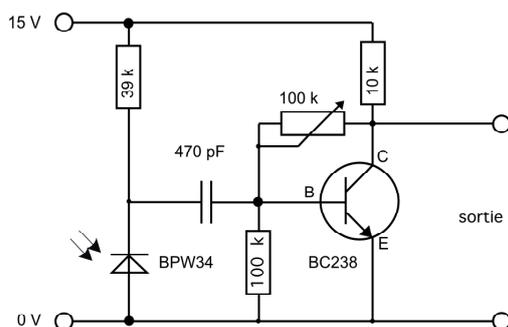
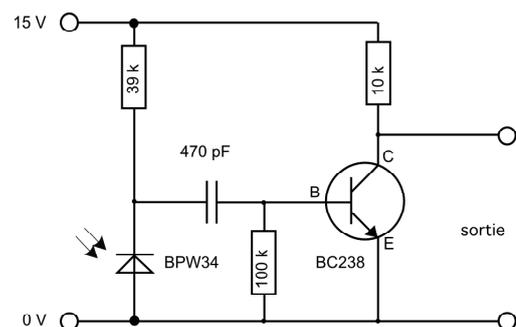


Figure 4 Amplificateur 1
(permet la variation de phase)



Amplificateur 2

Les sorties des deux amplificateurs sont branchées aux entrées 1 et 2 de l'oscilloscope et le générateur est branché à l'entrée du laser. La sensibilité doit être maximale pour que les deux maxima des signaux soient bien représentables sur l'écran de l'oscilloscope. L'oscilloscope a les ajustements suivants :

Time	$\leq 0,2 \mu s / Div$	Trigger :	DC PEAK du canal 2
canal 1:	AC : $10mV / Div - 50mV / Div$	canal 2:	AC : $10mV / Div - 50mV / Div$
Delay :	$1 \mu s$		

6 Observations

La position du capteur lumineux BPW34 doit correspondre au foyer de la lentille. Les réflexions du rayon-laser par le capteur dans cette position sont minimales.

7 L'expérience

Le générateur d'impulsion fait diminuer l'intensité du rayon laser. Pour l'ajustement du parcours, le signal du générateur est éteint. Le module à diode laser et les deux miroirs parallèles sont ajustés de façon à ce que le rayon réfléchi plusieurs fois et focalisé par le miroir convexe tombe sur le capteur BPW34 no 1. Le diviseur du rayon, un verre à vitres, divise le rayon en deux rayons approximativement perpendiculaires. On place une lentille convexe au rayon réfléchi par le diviseur du rayon et au foyer de la lentille on place le capteur PBW34 no2 qui donne le signal de référence au temps $t=0$. Le signal du capteur no2 définit le temps de départ pour le rayon de l'oscilloscope sous la condition que le générateur d'impulsions est mis en fonction.

D'abord le capteur BPW34 no 1 est placé derrière le diviseur dans le rayon principal, le capteur no 2 est toujours dans le rayon réfléchi. On ajuste par le potentiomètre la phase des deux maxima des signaux.

Après, on place le capteur BPW34 no 1 au foyer de la lentille du rayon principal qui a traversé la distance totale.

La lumière concentrée au foyer provoque un signal semblable au signal de référence, mais ce signal est déplacé à droite sur l'écran de l'oscilloscope. La dilatation du temps Δt et le chemin total parcouru par la lumière permettent de déterminer la vitesse de propagation de la lumière.

8 Les mesures

La figure 5 nous montre le maximum du signal du capteur BPW34 no 2 à gauche et le maximum du signal du capteur BPW34 no 1 après le parcours de la distance maximale à droite. L'unité du temps choisie sur l'oscilloscope est $0,05 \mu s$. Le maximum du signal s_1 du bas, après la distance de 51,0 m, subit un déplacement à droite de $0,17 \mu s$ par rapport au signal s_2 .

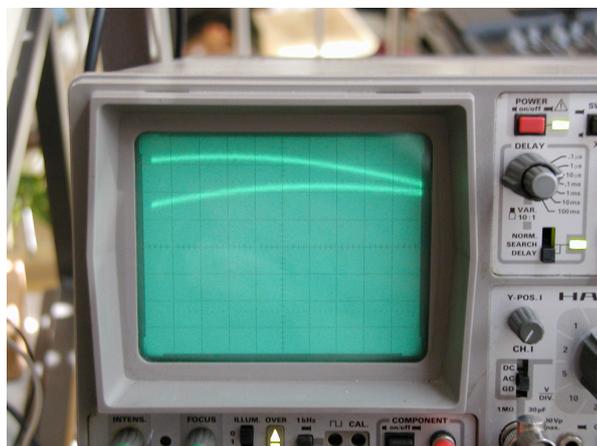


Figure 5 Les signaux après 0 m et 6x8,5 m ($0,05 \mu s / Div$)

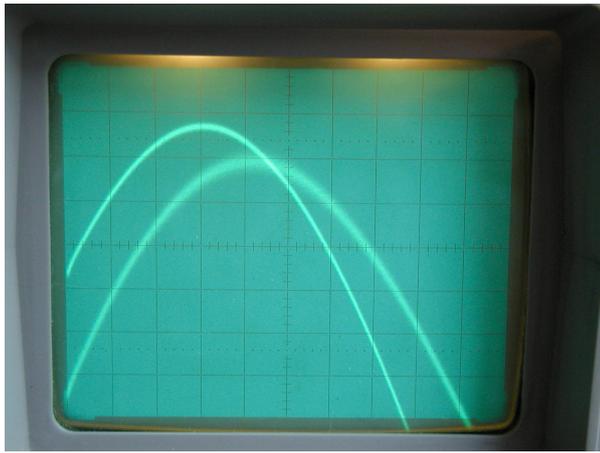


Figure 6 Les signaux après 0 m et 8x9,0 m ($0,2 \mu s / Div$)

9 Détermination de la vitesse de propagation de la lumière

Avec l'ajustement du temps de déflexion $0,05 \frac{\mu s}{Div}$ sur l'oscilloscope, l'extremum du capteur 1 se déplace de $t \pm \Delta t = (3,4 \pm 0,2) 0,05 \mu s$. C'est le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le trajet $d \pm \Delta d = 6 \cdot (8,50 \pm 0,01) m = (51,00 \pm 0,06) m$. La vitesse de propagation de la lumière est:

$$c \pm \Delta c = \frac{d \pm \Delta d}{t \pm \Delta t} = \frac{51,00 m \pm 0,06 m}{0,17 \cdot 10^{-6} s \pm 0,01 \cdot 10^{-6} s} = (3,0 \pm 0,2) \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

L'incertitude relative de la vitesse de propagation de la lumière vaut $\frac{\Delta c}{c} = \pm 6\%$. L'incertitude relative de la distance totale vaut $\frac{\Delta d}{d} = \pm \frac{0,06}{51,00} = \pm 0,11\%$. L'incertitude relative du temps est $\frac{\Delta t}{t} = \pm 5,9\%$.

De la figure 6 (temps de déflexion : $0,2 \frac{\mu s}{Div}$), on obtient le déphasage des maxima de $t \pm \Delta t = (1,2 \pm 0,1) \cdot 0,2 \mu s$. Le chemin parcouru vaut $d \pm \Delta d = 8 \cdot (9,0 \pm 0,01) m = (72,00 \pm 0,08) m$. La vitesse de propagation de la lumière est:

$$c \pm \Delta c = \frac{d \pm \Delta d}{t \pm \Delta t} = \frac{72,00 m \pm 0,08 m}{0,24 \cdot 10^{-6} s \pm 0,01 \cdot 10^{-6} s} = (3,0 \pm 0,1) \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

10 Conclusion

Le but d'un montage simple est atteint. Seule l'électronique du capteur lumineux et du générateur d'impulsions était à développer. Les circuits sont simples à reconstruire et bon marché.

Les exigences des dimensions du laboratoire sont limitées à une longueur de 9 m. La précision de la mesure du temps est plutôt faible. L'expérience nous montre quand même l'ordre de grandeur correct de la vitesse de propagation, ce qui est suffisant pour la formation des étudiants et permet quand même d'obtenir un approfondissement des connaissances de cette grandeur physique c .

L'histoire de la vitesse de propagation de la lumière se termine avec la 17e l'assemblée générale des mesures de la masse et du poids où l'on a fixé la vitesse de propagation de la lumière dans le vide à $c = 299'792'458 \frac{m}{s}$. Cette grandeur physique permet dès lors une nouvelle définition du mètre, qui est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant $1 / 299792458 s$. Les bases ont été développées autour de 1973 quand on a travaillé avec le laser et les montres atomiques.