

Ré-édition de l'expérience de Fizeau

Didier Roulet Rue de la Scie 2 1207 Genève

rouletd@infomaniak.ch

Introduction

Cet article a été rédigé suite à la conférence que Francesco Lo Bue, de l'université de Mons en Belgique, a donnée en août dernier dans le cadre du congrès de l'association belge des professeurs de physique et chimie, conférence à laquelle j'ai eu la chance d'assister.

Bref historique

La première "bonne" valeur (c'est-à-dire qui donne correctement l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière) a été obtenue en 1676 par Ole Rømer, qui a trouvé 220000 km/s, soit un écart de 26% par rapport à la valeur aujourd'hui retenue de 299792 km/s. Rømer a pensé à tenir compte de la variation de la distance entre la Terre et Jupiter, variation qui donne lieu à des avances ou à des retards par rapport aux valeurs attendues lorsque les satellites de Jupiter (en particulier Io) disparaissent derrière la planète ou réapparaissent.

En 1849, Hippolyte Fizeau a 30 ans et il imagine pour mesurer la vitesse de la lumière le dispositif que tout le monde connaît, et qui est mentionné dans tous les livres de physique, mais contrairement au célèbre pendule de Foucault, depuis 1904 plus personne n'a réalisé cette expérience.

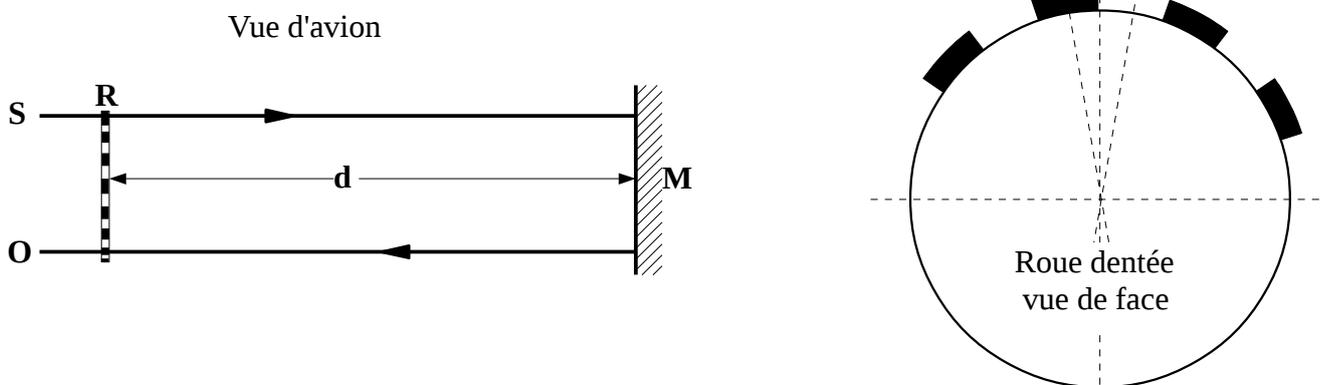
C'est le but de l'équipe de l'université de Mons.

Le principe

On fait passer à travers (l'intervalle entre) deux dents de la roue **R** la lumière émise par la source **S**. Cette lumière va en ligne droite jusqu'au miroir **M** puis revient sur ses pas. Si la roue est immobile ou tourne à basse fréquence, la lumière repasse par le même intervalle, mais si la rotation est suffisamment rapide, lors de son retour la lumière rencontre une dent: l'observateur **O** ne voit plus le spot lumineux renvoyé par le miroir.

Connaissant la fréquence de rotation de la roue, son diamètre et le nombre de dents, on calcule aisément le temps qu'a mis la roue pour tourner d'un angle ϕ . (voir les dessins ci-dessous) : c'est aussi le temps qu'a mis la lumière pour faire l'aller-retour **R-M-R** ($= 2d$). On peut ensuite faire croître encore la fréquence de rotation : en passant par le créneau suivant, la lumière ré-apparaît (la roue a alors tourné d'un angle 2ϕ), puis disparaît à nouveau lorsqu'elle est bloquée par la prochaine dent (ce qui correspond à un angle de rotation de 3ϕ), etc...

Comme on connaît la distance **d** ($=\mathbf{R-M}$), il est facile d'en déduire la vitesse de la lumière.



N.B. : Sur le schéma ci-dessus, la lumière passe au retour par un espace inter-dentaire diamétralement opposé à celui de l'aller: ceci est sans conséquence, car **d** vaut plusieurs kilomètres, alors que le diamètre de la roue est d'environ 10 cm.

La pratique...

Comme on va le voir, il y a loin de la théorie à la pratique. Grâce à la valeur obtenue par Rømer près de deux siècles plus tôt, Fizeau connaît l'ordre de grandeur de c . Il doit donc choisir une distance d aussi grande que possible; il choisit de faire l'expérience entre Suresnes et Montmartre, soit 8633 mètres.

La source lumineuse

Cela demande d'avoir une source suffisamment puissante pour être perçue après un trajet (aller-retour) de plus de 17 km. En 1849, Fizeau ne dispose d'aucune source électrique pour produire une lumière intense : il choisit la lumière solaire pour les expériences faites de jour, et une lumière dite "Drummond" (une flamme d'un chalumeau oxy-acétylénique dirigée sur un morceau de craie) pour les expériences de nuit.

En 2016, l'équipe belge a opté pour un laser (vert), mais de très faible puissance (5 milliwatts, soit un pointeur laser), car le but était de permettre à tout un chacun de pouvoir venir faire une mesure sans danger.

La roue

Fizeau fait appel à un fabricant renommé pour fabriquer avec le plus grand soin un disque de métal de 12 cm de diamètre sur la périphérie duquel il taille 720 dents, soit des dents de 0,26 mm de largeur...

Dans l'exposé du principe ci-dessus, j'ai parlé d'une fréquence de rotation de la roue de 12 tours par seconde. Il faut être conscient que Fizeau ne disposait bien sûr d'aucun asservissement électrique, et c'est aujourd'hui une question non élucidée : comment a-t-il fait, non seulement pour connaître avec précision la valeur de la fréquence de rotation de la roue, mais encore pour la stabiliser durant le temps de la mesure, et pour pouvoir la modifier jusqu'à obtenir une extinction du signal ?

Pour la ré-édition, la roue choisie se trouve dans le commerce : c'est un disque de 10 cm de diamètre percé de 445 fentes, et la régulation électronique ne pose plus de problème pour cette étape. Ainsi la fréquence de rotation a pu être augmentée d'un facteur 8 (100 tours / seconde) par rapport à l'expérience de Fizeau.

Le réflecteur

Dans la version moderne, la distance choisie était de 5,5 km. Vu la faible puissance du laser utilisé, il était naturel de penser à un miroir, mais les difficultés d'alignement et la sensibilité des réglages étaient tels que finalement, ce qui a donné les meilleurs résultats fut un écran réflecteur "perlé", du type dont est constitué le revêtement des panneaux de signalisation routière. Contre toute attente, le spot était facilement visible même en plein jour pour un observateur placé dans l'axe du faisceau.

L'observation

Il semble que Fizeau ait dirigé le faisceau de retour sur le même chemin qu'à l'aller, en intercalant un miroir semi-réfléchissant orienté à 45° et placé entre la source et la roue dentée. Là encore, on ne sait pas comment il a résolu la difficulté que les nombreuses réflexions parasites sur les surfaces des lentilles devaient créer lors des mesures.

Dans la version moderne, le faisceau de retour passe (ou pas) entre des dents situées à l'opposé de celles que traverse le faisceau aller, comme sur le schéma ci-dessus.

Les mesures

La valeur retenue par Fizeau pour l'ensemble de ses mesures est 315300 km/s, alors que l'université de Mons a obtenu 297000 km/s.

Conclusion

Il vaut la peine de temps en temps de se retourner et de prendre conscience, quand nous insérons ces constantes physiques indispensables (G , c , ϵ_0 , μ_0 , ...) dans une calculatrice (encore une facilité très récente ...) ou dans un programme afin d'obtenir un résultat chiffré pour une force, une distance, un courant, un champ ..., que chacune d'elles a nécessité des années d'efforts à des personnes astucieuses, inventives, habiles, tenaces, parfois géniales, alors que nous lisons si facilement leur valeur dans une table numérique ou sur Internet et que presque toujours leur obtention si ardue est mentionnée très (trop !) brièvement dans les cours.