

Une mesure de la constante de gravitation universelle au lycée

Les Olympiades de la Physique rassemblent chaque année à Paris des équipes de lycéens qui présentent les résultats de leurs travaux.

Le travail décrit ici est l'œuvre d'un groupe de lycéens constitué de Bruno Bugada, Christophe Blondeau, Jean-Philippe Petit et de leur professeur Jean-Michel Jussiaux du lycée Xavier Marmier de Pontarlier. Leur but : concevoir un montage automatisé permettant la mesure rapide de la constante de gravitation universelle.

Il a été couronné par la session 2000 des Olympiades de la Physique, ainsi que du prix d'honneur de l'épreuve européenne « European Union Contest for Young Scientists. »

Ils ont décidé de partir d'un montage inspiré de l'expérience de Cavendish : il ont construit un pendule de torsion d'axe vertical comportant deux masses sphériques de plomb m et m' . Ces masses sont soumises à la force d'attraction générée par deux masses fixes de 20 kilogrammes chacune.

Les élèves ont fondu eux-mêmes les sphères de plomb dans des moules en plâtre de leur fabrication, et ils ont réalisé le bâti de leur expérience avec le matériel le plus simple possible.

Au cours de leur recherche documentaire, ils ont découvert que la constante de gravitation universelle pose un problème aux physiciens : non seulement elle n'est pas connue

avec une grande précision, contrairement aux autres constantes physiques, mais en 1998, les physiciens ont dû revoir à la hausse les incertitudes sur sa mesure, qui sont passées de 0,013% à 0,15%. Gênant lorsque l'on sait que cette constante est cruciale dans de nombreux problèmes cosmologiques !

FABRICE DAVID

Les Olympiades de la Physique rassemblent chaque année à Paris des équipes de lycéens qui présentent les résultats de leurs travaux. Le travail décrit ici est l'œuvre d'un groupe de lycéens et de leur professeur. Leur but : concevoir un montage automatisé permettant la mesure rapide de la constante de gravitation universelle.

Les sources d'erreurs expérimentales sont nombreuses et la cause d'erreur la plus importante est l'incertitude sur la constante de torsion du fil de suspension. C'est pourquoi les mesures les plus récentes font appel à des systèmes rotatifs. Les lycéens de Pontarlier nous préparent sans doute des surprises dans ce domaine, mais pour leur coup d'essai, ils ont préféré choisir d'améliorer le montage plus classique dû à Cavendish.

Le montage de Cavendish est en apparence très simple : le pendule de torsion constitué par les deux masses mobiles m et m' doit tourner d'un très petit angle sous l'effet de l'attraction des deux masses M et M' . Cet angle est mesuré en comparant les deux positions moyennes entre lesquelles le pendule de torsion oscille, d'abord sans masses MM' , puis avec les lourdes masses à proximité, car il est impossible d'attendre que le pendule cesse d'osciller. La période du pendule est très longue : de l'ordre de 10 minutes, ce qui fait que cette expérience n'est pas aisément réalisable dans l'intervalle limité d'une séance de travaux pratiques.

Le problème que se sont posé nos lycéens est le suivant : comment raccourcir le temps nécessaire à l'expérience ? La réponse suivante s'est imposée : il faut asservir le pendule, de façon à ramener la période des oscillations à une dizaine de

secondes. On mesurera ensuite la tension moyenne à la sortie de l'asservisseur, ce qui permettra d'accéder à la constante de gravitation en moins d'une minute. L'asservissement de la position du pendule est réalisé comme suit : une palette mobile fixée au pendule intercepte le faisceau infrarouge d'un optocoupleur (une diode

électroluminescente fixée en face d'un phototransistor). Un montage électronique ad hoc pilote le champ magnétique d'une bobine qui attire un minuscule aimant fixé sur le fléau du pendule de torsion.

Le principe a l'air simple, mais les variations de distance à mesurer sont de l'ordre du micron et pendant plusieurs mois, nos physiciens en herbe ne vont mesurer que des artefacts. Ils devront rajouter un fil supplémentaire au montage de Cavendish, de façon à maintenir le pendule dans son axe, et imaginer des dispositifs simples pour compenser la déformation des deux fils de suspension.

La force créée par l'approche d'une masse M à 15 cm d'une masse mobile n'est que de $4,46 \cdot 10^{-8}$ N soit le poids d'une gouttelette d'eau de 1/10 mm de rayon. De plus, chaque masse M attire les deux masses m et m' , car le bras du pendule est relativement court. La construction graphique, suivie d'un calcul, montre que l'on ne détecte que 70% de la force gravitationnelle.

Lorsque les masses M et M' sont disposées selon un angle droit par rapport aux masses mobiles m et m' , leur attraction réciproque se compense, ce qui équivaut à les éloigner à l'infini.

Il est souvent arrivé à la jeune équipe de physiciens de se décourager, mais leur détermination a été récompensée et finalement la démonstration à Paris devant le jury s'est bien passée : la constante de gravitation a été déterminée avec un écart type de l'ordre de 10%, ce qui est tout à fait remarquable pour une mesure aussi rapide. La vitesse de réaction du système de mesure est de l'ordre de quelques secondes, ce qui permet une mise en évidence spectacu-

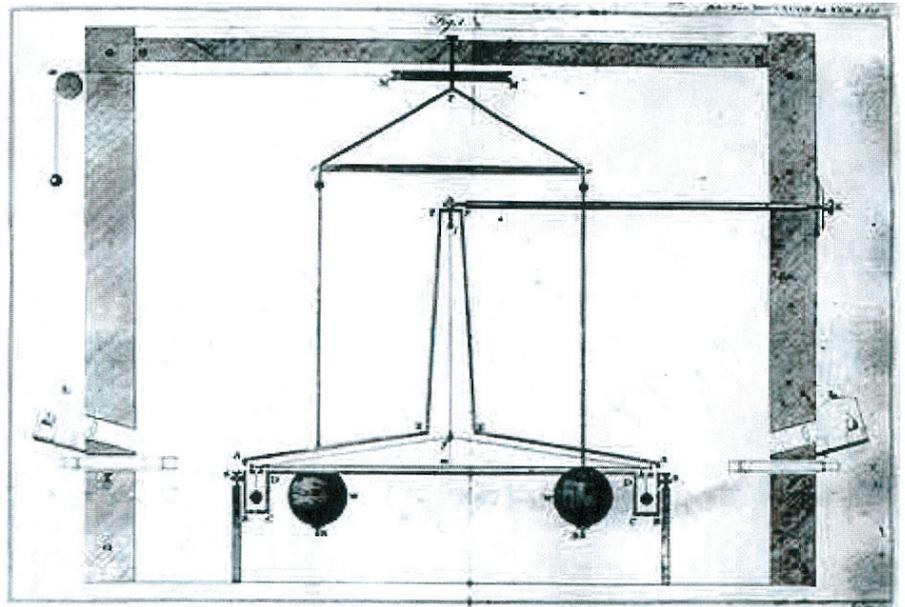


Figure 1.
Montage de Cavendish, 1798.

laire de la force d'attraction universelle dans une salle de travaux pratiques.

Vous pourrez trouver plus de détails sur leurs remarquables travaux sur le site <http://perso.wanadoo.fr/jussiaux.software/olympiades>

Cette année, une nouvelle équipe du Lycée Xavier Marmet va concourir avec tout travail sur le thème de l'holographie.

Le niveau du concours s'élève d'année en année. Citons quelques thèmes de recherches choisis cette année : Effet Doppler appliqué à la mesure de distance des supernovæ (Lycée Chaplin, Décrués), Tomodensimétrie (Lycée Cent, Vandœuvre), Etude des réactions de fission nucléaire dans une chambre à trouillard (Lycée St Exupéry, Montigny-le-Bretonneux)

La revue FUSION profite de cet article pour lancer un appel aux équipes de lycéens et de scientifiques amateurs : Vous avez lu dans nos colonnes les comptes rendus des expériences du Professeur Allais (prix Nobel) consacrées à la mesure précise de l'Effet de Foucauld, notamment pendant les éclipses. Serait-il possible de concevoir un système informatisé de mesure des angles de rotation du plan l'oscillation d'un pendule ? Les oscillations du pendule devront être entretenues sur de longues périodes.

Les solutions les plus élégantes seront publiées dans Fusion. Nous formons le vœu qu'elles servent de modèles pour un réseau international dédié à l'observation en continu de l'évolution du plan d'observation du pendule, destiné à corrélérer l'observation d'éventuelles anomalies avec des phénomènes astronomiques.

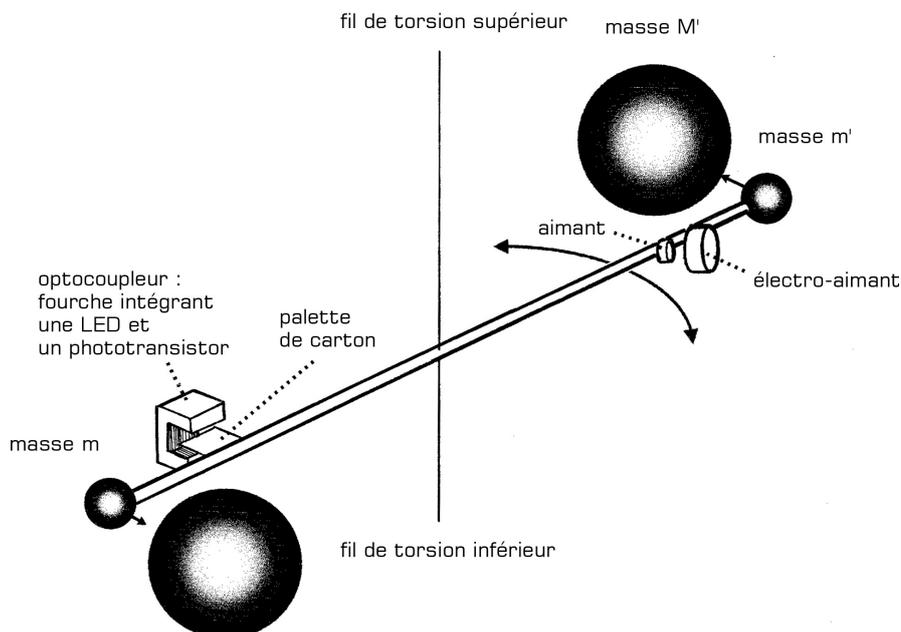


Figure 2.
Schéma de l'asservissement.