



fête de  
la Science <sup>fr</sup>

5 octobre 2015

Observatoire de Lyon

# fête de la Science

Inauguration

Expériences de Physique

pour niveau lycée, enseignement  
supérieur et formation continue



Projet d'enseignement  
Isabelle VAUGLIN

# L'Astrophysique

porte d'entrée de la physique  
au niveau lycée et enseignement supérieur



Le CRAL-Observatoire de Lyon a depuis longtemps une politique de diffusion des sciences ambitieuse. Nous menons de nombreuses actions destinées aux scolaires et au grand public, touchant environ 3800 scolaires chaque année et accueillant sur notre site 3000 à 6000 visiteurs par an.

Conscients et préoccupés du désintérêt persistant des jeunes pour les filières scientifiques, nous utilisons l'attrait important que présente l'astronomie pour tenter de développer auprès des élèves touchés un intérêt pour les études scientifiques.

La physique actuelle s'est construite pas à pas, marquée par des expériences qui ont fait date et qui restent toujours valables dans la physique contemporaine.

Par les expériences de physique proposées, les élèves, les étudiants et les enseignants peuvent expérimenter et pratiquer pour comprendre les fondements de la physique.

Nous donnons aux élèves la possibilité :


- de faire eux-même des mesures de constantes fondamentales en physique (**balance de Cavendish et mesure de la vitesse de la lumière**)
- d'approcher des techniques de pointe en lien fort avec deux des axes majeurs de recherches du CRAL (**de la spectroscopie de base à la spectroscopie intégrale de champ et banc d'optique adaptative**)
- de se confronter à la difficile détection des planètes extra-solaires (**détection des exoplanètes par la méthode des transits**)

Nous espérons ainsi stimuler le goût des sciences chez les jeunes et les inciter à s'orienter ensuite vers des filières scientifiques....



# Les expériences proposées à l'Observatoire de Lyon

Venir dans un laboratoire de recherche, travailler dans des conditions proches de la recherche en étant encadré par des chercheurs et des ingénieurs.



# La balance de Cavendish

## mesurer G ou peser la Terre



Les constantes universelles régissent toute la physique, elles sont capitales dans l'homogénéisation et la quantification des lois de la physique. Leurs valeurs ne sont pas calculables: exprimées en unités fondamentales, elles sont imposées par la nature. **La constante universelle de la gravitation G** fait partie de ces constantes fondamentales. Elle établit, dans la loi de Newton, l'homogénéité entre la force, les masses et les distances :  $F = G \frac{MM'}{d^2}$ .

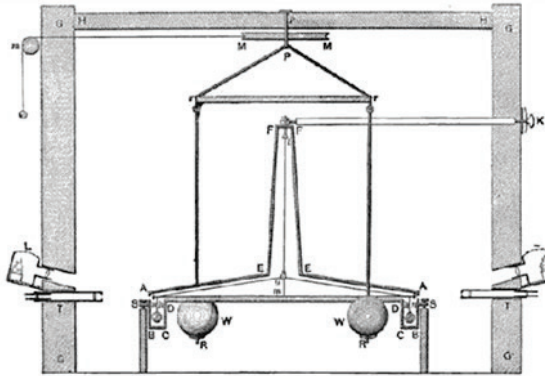
La gravitation est partout : nous ressentons ses effets en tout point de la Terre. Pourtant, du fait de l'extrême difficulté de la mesure, il faudra attendre presque un siècle pour que l'on arrive à mesurer ce **G** de la loi de Newton et vérifier expérimentalement la loi de la gravitation.

Henry Cavendish est le premier à y parvenir en 1798 grâce à un dispositif expérimental dont le principe novateur restera jusqu'à aujourd'hui.

La valeur précise de **G** est encore mal connue et sa détermination suscite toujours l'intérêt des physiciens.

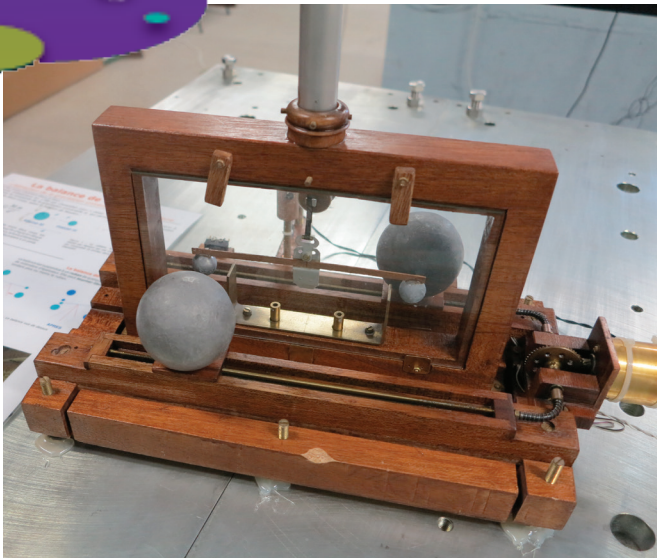
Notre balance est une réplique de la balance de Cavendish. Cette balance ultra sensible permet de mesurer précisément l'attraction entre deux petites masses. Le principe est simple mais la mise en oeuvre très délicate. L'intensité des forces à mesurer est infime et la moindre perturbation empêche la mesure.

Les élèves prennent conscience de la nécessité de manipuler avec rigueur et précision. Ils obtiennent la valeur d'une constante fondamentale de la physique ou bien mesurent la masse de la Terre.



*H. Cavendish*

Balance construite par Henry Cavendish  
en 1797-1798



Balance de Cavendish construite par G. Paturel

# Spectrographies...

## ... de base, multi-objets, intégrale de champ



Les distances dans l'Univers sont telles que nous ne pouvons pas nous déplacer pour aller faire des mesures in situ sur les astres. Nous devons donc les étudier à partir des informations qui arrivent jusqu'à la Terre.

**La spectroscopie est l'outil de base en astrophysique** car elle permet de « faire parler » la lumière qui nous arrive et d'accéder ainsi aux paramètres physiques de la source émettrice.

Le lien avec les programmes de physique est direct.

Avec notre expérience de spectroscopie, les élèves voient le principe de base de la dispersion de la lumière, découvrent les différents spectres (accessible dès la fin du collège) puis le principe de la spectroscopie multi-objets (niveau lycée).

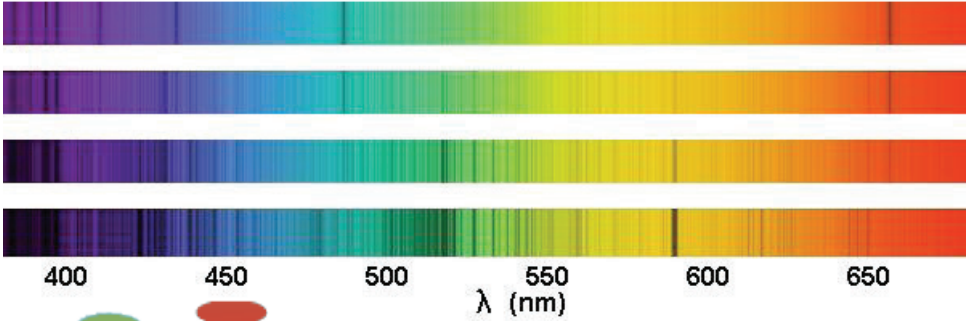
La maquette du principe de l'instrument MUSE, spectrographe intégral de champ conçu dans le laboratoire, permet de montrer une technologie de pointe et de faire la liaison avec un domaine de recherche majeur du CRAL.

Les élèves prennent conscience de la nécessité de manipuler avec rigueur et précision. Ils obtiennent la valeur d'une constante fondamentale de la physique ou bien mesurent la masse de la Terre.

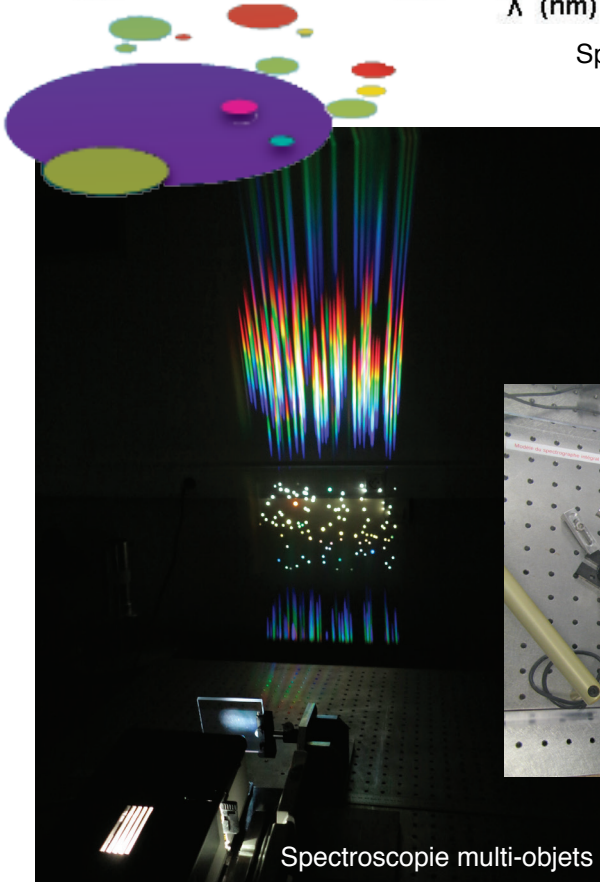
## Nocturne, diurne, solaire, stellaire...

Par ailleurs, nous avons développé la possibilité de faire des spectres sur le télescope de 1 mètre de l'Observatoire avec du matériel simple. La méthode permet d'obtenir en plein jour, des spectres d'étoiles cachées derrière le bleu du ciel et le spectre solaire omniprésent. Nous proposons toutes les opérations de traitement qui s'ensuivent.

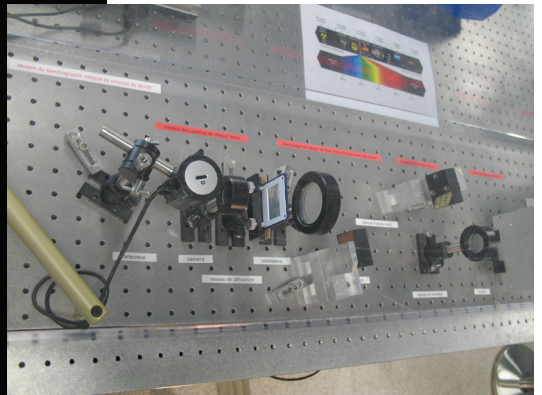
Notre matériel permet de faire soit des spectres de moyenne résolution permettant de découvrir la classification des étoiles, soit à haute résolution, la découverte des éléments et la mesure de vitesses radiales.



Spectres d'étoiles - crédits OBSPM



Maquette d'un IFU de l'instrument MUSE



# c : Vitesse de la lumière

299 792 458 mètres par seconde



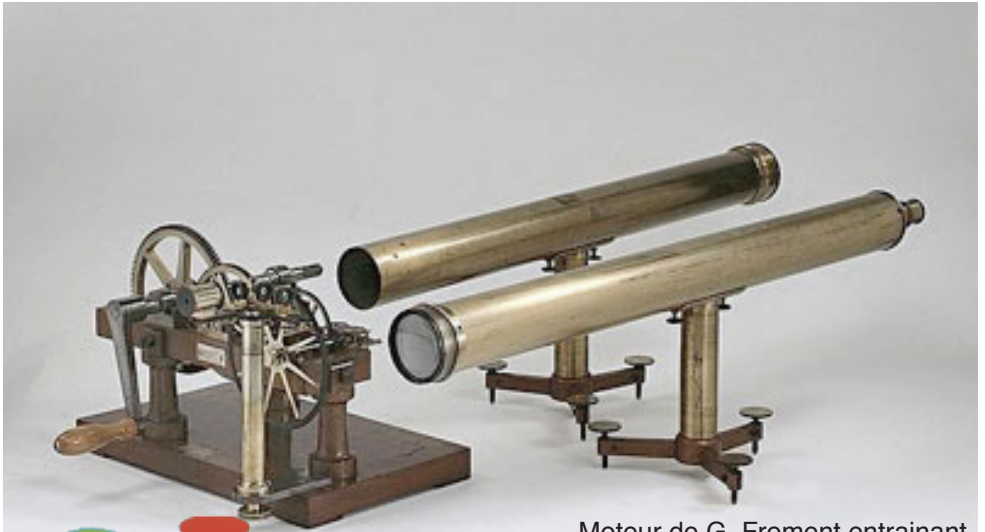
La lumière a toujours joué un rôle moteur dans l'évolution des idées en physique mais sa vitesse est si grande que, dans les conditions ordinaires, sa durée de propagation échappe totalement à nos sens. La lumière peut faire sept fois et demi le tour de la Terre en une seconde !

Dans le cadre de la théorie de la relativité, la vitesse de la lumière a pris une importance considérable: elle est devenue une constante fondamentale de la physique, qu'aucune vitesse réelle ne peut dépasser. Galilée fit une première tentative de mesure au XVIIe siècle, mais c'est l'astronome danois Römer qui fit la première estimation correcte en 1676 par les irrégularités des mouvements des satellites de Jupiter. Foucault et Fizeau développent la première véritable expérience et font en 1862 une mesure de grande précision de  $c$ .

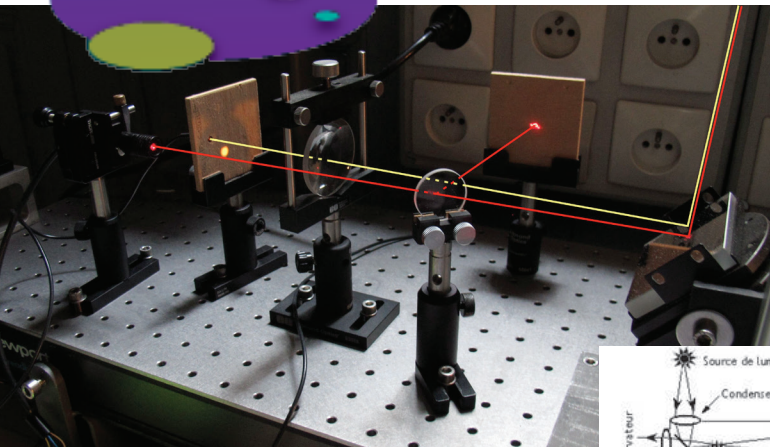
Notre expérience est **une version électronique de l'expérience de Foucault**, la source de lumière étant fournie par un laser dont l'intensité est modulée de façon périodique. Le faisceau laser est partagé pour qu'une partie de la lumière suive un trajet **court** et l'autre un trajet **long**. La vitesse de la lumière est le rapport entre la différence de longueur des deux trajets et l'écart de temps entre les deux signaux reçus sur l'oscilloscope.

Arriver à faire la mesure de cette vitesse est fascinant pour les élèves.



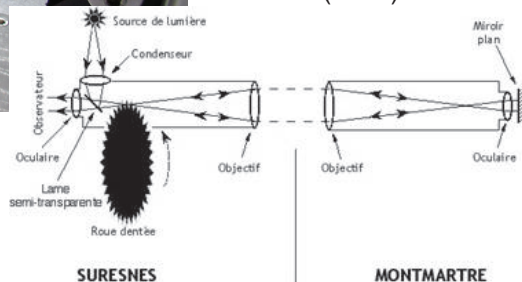


Moteur de G. Froment entrainant la roue dentée de l'expérience de Foucault



L'expérience sur sa table à l'Observatoire

schéma de l'expérience de Fizeau (1849)



# L'optique adaptative

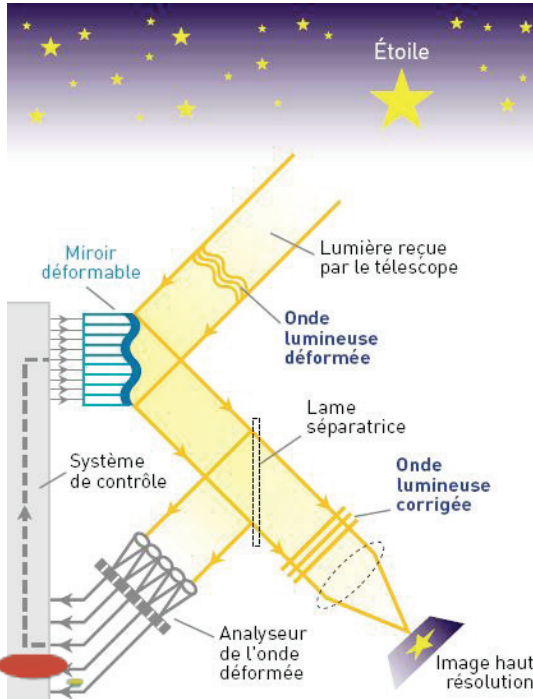


Tous les instruments construits pour scruter l'univers souffrent du même problème : l'atmosphère terrestre brouille leurs images. Sauf à placer les télescopes en orbite, la résolution d'un instrument est limitée par les turbulences atmosphériques et non par la taille de son miroir. L'optique adaptative, en modifiant en temps réel la surface des miroirs, permet de s'affranchir des effets néfastes de l'atmosphère donc de restituer à un télescope au sol son pouvoir séparateur et d'augmenter par là même sa sensibilité grâce à une meilleure et constante focalisation de l'image sur le détecteur.

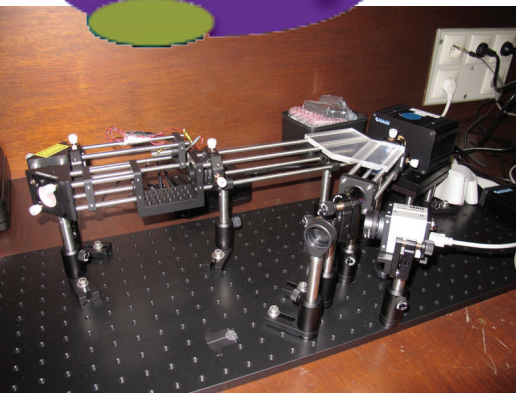
Les techniques sont délicates et continuent de faire l'objet de recherches et de développement en astrophysique. Les résultats obtenus sont tels qu'avec leurs systèmes d'optique adaptative, les télescopes VLT implantés au Chili ont des résolutions supérieures aux télescopes spatiaux.

Utilisant un miroir déformable avec 36 actuateurs et un analyseur de front d'onde Shack-Hartmann, le banc de notre expérience permet d'expliquer la méthode complexe de l'optique adaptative et d'aborder les techniques optiques mises en oeuvre ainsi que les développements informatiques requis afin de faire comprendre les raisons et le principe de la correction d'images par l'optique adaptative.

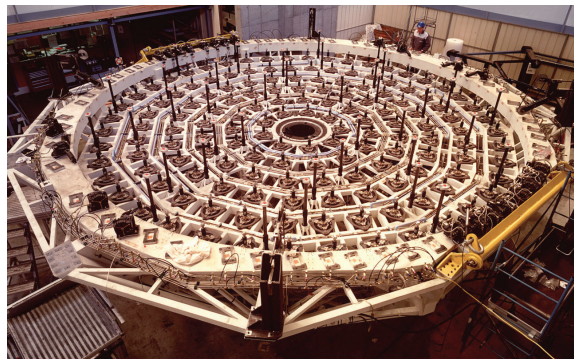
Avec cette expérience originale, nous proposons aux lycéens et aux étudiants un apprentissage par une formation expérimentale des techniques innovantes développées actuellement en astrophysique.



Le principe de l'optique adaptative



L'expérience de l'Observatoire sur sa table



Support de miroir du VLT

# La détection des exoplanètes



Le 6 octobre 1995 dans un colloque à Florence, l'astronome suisse Michel Mayor révélait la première découverte d'une planète extra-solaire autour de l'étoile 51Pégase, une étoile de type solaire, à partir d'observations réalisées à l'observatoire de Haute-Provence avec le spectrographe ELODIE basé sur la méthode des vitesses radiales.

Notre Système Solaire n'est plus un cas particulier dans l'Univers!

Depuis, plusieurs milliers d'exoplanètes ont été découvertes par différentes méthodes. On commence maintenant à avoir accès à des informations sur leurs atmosphères.

## La méthode des transits

Lorsque que le plan de l'orbite d'une planète autour de son étoile se trouve dans la ligne de visée de l'observateur, la planète passe régulièrement devant son étoile et il en résulte une variation périodique du flux de l'étoile. La détection de cette variation de flux, qui signe donc la présence d'une éventuelle planète, est la base de la méthode des transits.

Elle nécessite des mesures d'une grande précision: la variation de flux due à une planète de la taille de la Terre qui passerait devant une étoile comme le Soleil ne serait que de 0,01 %!

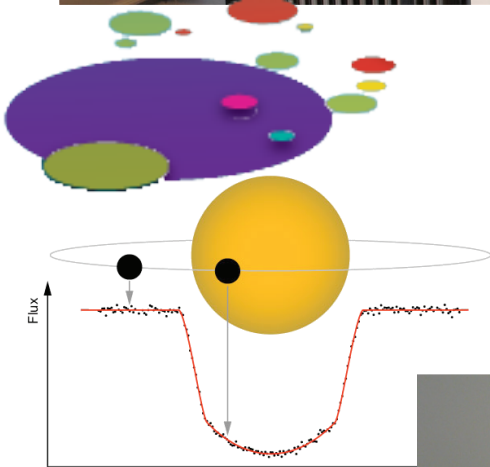
Cette méthode est utilisée avec succès par les satellites Kepler et CoRoT mais aussi par **des instruments terrestres tels SPHERE sur un des VLT au Chili** et ASTEP à Concordia en Antarctique.

Dans l'expérience présentée, un dispositif entraîne une « planète » autour de « l'étoile ». Un photomètre placé à distance enregistre le flux reçu par l'observateur. On peut faire varier différents paramètres: inclinaison de l'orbite de la planète, vitesse orbitale de la planète, taille de la planète.

La recherche de nouvelles planètes est en relation avec la SVT, la physique, la philosophie... Pouvoir comprendre en détail comment détecter des exoplanètes ouvre les élèves à des domaines qui les passionnent.



Montage de la méthode des transits



Le principe de la méthode des transits



# Expériences de Physique



## Financements

Ces expériences sont destinées à la formation et à la diffusion des sciences au CRAL-Observatoire de Lyon.

Elles ont pu être montées grâce au soutien financier :

- de Sciences à l'Ecole
- de l'Université Claude Bernard Lyon1
- de la Délégation Régionale Rhône-Auvergne du CNRS
- du LIO

Nous les remercions sincèrement de leur indispensable soutien.



# Expériences de Physique



## Collaborations

Les expériences résultent d'une collaboration étroite et fructueuse de toute une équipe comprenant

- les services techniques du CRAL-Observatoire de Lyon, tout particulièrement Edgar Renault, ingénieur opticien
- Sylvie Thiault, professeure relai détachée par le Rectorat à l'Observatoire
- Georges Paturel, Philippe Merlin et Jean-Pierre Dubois, personnels associés et membres de l'association SELENE

Georges Paturel, astronome et président honoraire du CLEA, a conçu et fabriqué la balance de Cavendish. Il est également à l'origine du banc de mesure de la vitesse de la lumière. Sa participation a vraiment été fondamentale.

A chacun, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance pour leur investissement et leur soutien qui ont été déterminants pour la réussite de l'ensemble du projet.



# CRAL - Observatoire de Lyon

## Expériences de Physique



### Contact

<http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/physmanips.html>

**Inscriptions, renseignements :**  
Isabelle Vauglin – Tél.: 04.78.86.85.21  
[isabelle.vauglin@univ-lyon1.fr](mailto:isabelle.vauglin@univ-lyon1.fr)



Maquette Elodie Blandin