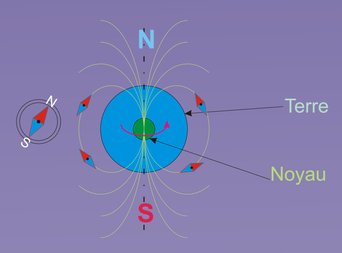
Magnétisme et laser : on n'y échappe pas !

Laboratoire de physique des lasers, Institut Galilée/Université Paris-Nord/CNRS, Avenue Jean-Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse
Contact : Paul-Eric Pottie, pottie_at_ univ-paris13.fr

Le magnétisme

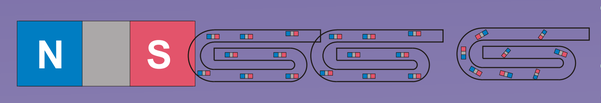
Les aimants sont connus depuis l'Antiquité, et on en utilise tous couramment, parfois sans le savoir ! En effet il y a des aimants dans les haut-parleurs, dans les téléphones, dans certains moteurs électriques, dans les disques durs d'ordinateur ou de lecteur mp3... La Terre elle-même est un gigantesque aimant ! On utilise ainsi une boussole, dont l'aiguille est aimantée, pour indiquer le Pôle Nord de la Terre.



Au centre de la Terre, il y a un liquide conducteur d'électricité en mouvement : il produit un magnétisme très intense.
Les lignes vertes représentent la direction indiquée par la boussole.

Mais si le magnétisme reste très souvent mystérieux, c'est que sa compréhension par les physiciens ne date guère que de 150 ans ! Aujourd'hui, on sait que le magnétisme est lié au mouvement de charges électriques, comme les électrons par exemple.
Remarque : le courant électrique est lui aussi un déplacement d'électrons. Un fil parcouru par un courant produit donc un champ magnétique.

Tous les matériaux ne sont pas sensibles au magnétisme. Certains métaux comme l'acier peuvent être facilement aimantés, par contact avec un aimant permanent. On peut ainsi aimanter plusieurs trombones à la queue-leu-leu avec un même aimant.



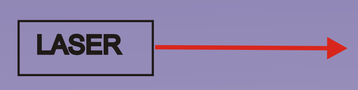
L'aimant transmet ses propriétés aux trombones en contact avec lui: ils s'aimantent.

Les aimants, eux, possèdent un magnétisme permanent. Dans ces matériaux qui contiennent presque toujours du fer, du nickel ou du cobalt, chaque atome se comporte comme un petit aimant, et ces aimants microscopiques s'alignent naturellement selon une même direction.
Les aimants ont aussi un sens. On dit qu'ils ont deux pôles, Nord et Sud, qui définissent leur orientation. Les mêmes pôles d'un aimant se repoussent, et les pôles opposés s'attirent.

Les lasers

Avec une lampe de la maison, la lumière émise est blanche, c'est-à-dire qu'elle est de toutes les couleurs à la fois. On en prend conscience lorsque l'on observe un arc-en-ciel : la lumière naturelle se décompose en une large palette de couleurs. D'autre part, la lumière d'une lampe est émise dans toutes les directions à la fois.

Avec un laser, la lumière émise est d'une seule et unique couleur. L'émission est aussi très directive : toute la lumière va dans une seule et unique direction.



On trouve aujourd'hui des lasers partout autour de nous : pointeurs, imprimantes, lecteurs de CD/DVD, télécommunications (internet, téléphonie)...

Lévitation magnétique

On parle de lévitation d'un objet lorsqu'il est maintenu dans les airs contre son poids, sans que rien ne semble le tenir.

On peut exercer une force à distance sur un objet à l'aide du magnétisme des aimants. On parle alors plus précisément de **sustentation magnétique**. L'objet lévite si la force exercée est égale et opposée en moyenne au poids de l'objet.

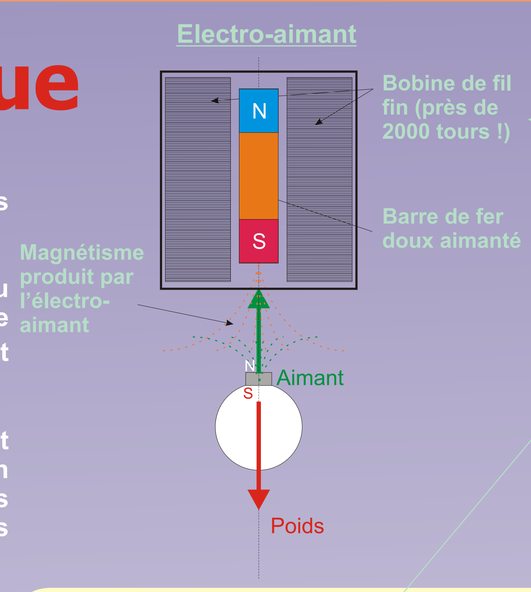
Il existe de nombreuses façons de faire léviter un objet : en utilisant des matériaux supraconducteurs (comme les trains à sustentation magnétique par exemple), ou bien en faisant tourner des toupies magnétiques (appelées "lévitrons"), ou encore en exploitant des courants alternatifs, etc.

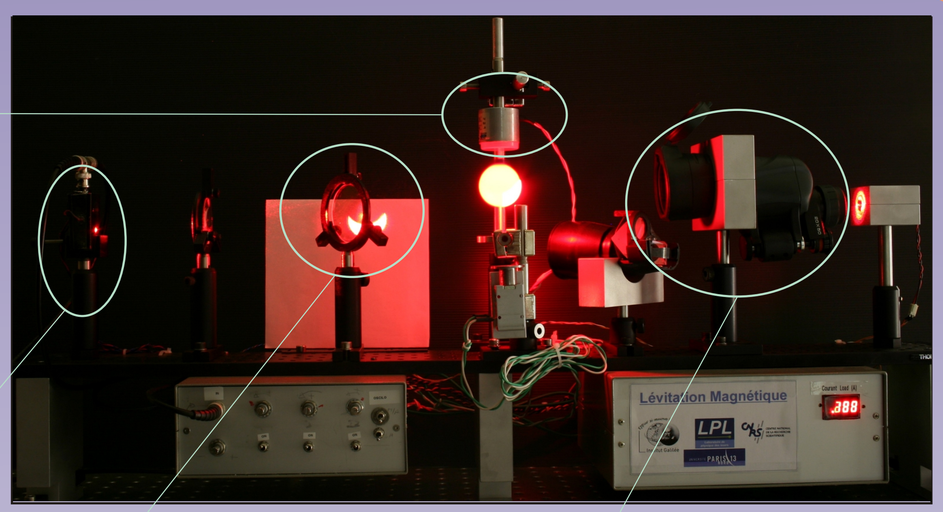
Le dispositif mis au point ici utilise quant à lui un **électro-aimant** pour contrôler la force exercée : plus le courant traversant l'électro-aimant est intense, plus la force exercée sur un aimant permanent est grande. L'intensité traversant l'électro-aimant est contrôlée par un circuit électronique.

La force est exercée sur un petit aimant collé au sommet de la balle de tennis de table. La balle, faite en polymère, n'est pas sensible au magnétisme. **Seul l'aimant est attiré par l'électro-aimant.**

La position de la balle est **détectée** optiquement : un faisceau laser éclaire une photodiode (voir encadré) placée à l'autre extrémité du banc optique. Lorsque la balle tombe à travers le faisceau laser, elle bloque une partie du faisceau. L'autre partie parvient à la photodiode. Le signal produit par la photodiode est alors plus faible que lorsque la balle n'occulte pas le faisceau. Le signal est ainsi relié à la position de la balle par rapport à celle de l'électro-aimant.

On traite ce signal pour calculer la réponse à apporter au courant traversant l'électro-aimant, et ainsi maintenir la position de la balle à la hauteur voulue. La balle est alors en lévitation.





La photodiode

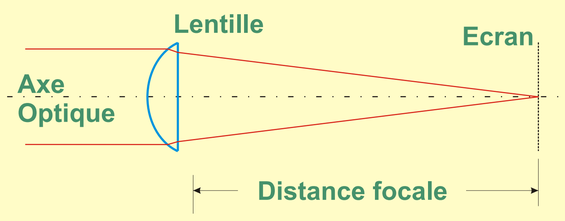
C'est un composant électronique très largement répandu, qui laisse passer un courant entre ses bornes en fonction de la quantité de lumière qui l'éclaire. Plus l'éclairement est intense, plus le courant est intense. En absence de lumière, aucun courant ne passe à travers la photodiode.
La photodiode convertit l'énergie lumineuse qui lui est apportée en énergie électrique. On peut alors traiter électroniquement le signal.

La lame séparatrice

C'est une plaque de verre qui reflète une partie de la lumière, et qui laisse passer l'autre. Les vitres de la maison sont des lames séparatrices : elles reflètent 4% de la lumière, et laissent passer 96% de celle-ci.
Ici le rapport réfléchi/transmis est différent, grâce à un dépôt d'une fine couche de chrome sur l'une des faces de la lame. Bien que l'épaisseur de cette couche soit plus fine que celle d'un cheveu, elle modifie beaucoup les propriétés de la lame : grâce à elle, 40% de la lumière est réfléchie, et 60% transmise !
La lame séparatrice sert à visualiser l'ombre de la balle dans le faisceau laser.

La lentille...

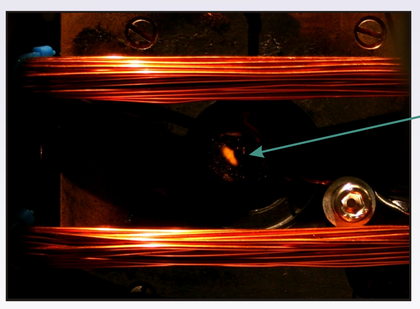
Les lentilles sont des verres taillés dont les surfaces sont soit bombées (dites convexes), soit creuses (dites concaves). Elles permettent de concentrer ou d'étendre le diamètre d'un faisceau lumineux.



On dit que le faisceau est focalisé là où son diamètre est le plus petit. La distance entre la lentille et le plan où le faisceau est focalisé est appelée la distance focale.
On utilise ici une lentille pour focaliser le faisceau laser sur la photodiode, qui est petite. Ainsi, toute la lumière laser sera détectée.

Quels outils pour la recherche !

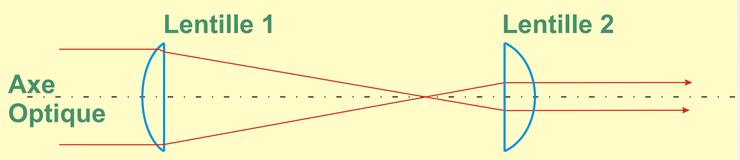
Les effets du magnétisme sont encore aujourd'hui un objet de recherche, notamment dans les étoiles et le soleil. Mais il est déjà suffisamment bien compris pour être utilisé et exploité, puis pour entrer finalement dans la vie de tous les jours.
Au laboratoire, on se sert aussi beaucoup des lasers et du magnétisme. Passant du statut d'objets de recherche au statut d'outils pour la recherche, ils permettent de manipuler et de contrôler avec précision la position et le mouvement des atomes (voir photo ci-contre). On peut ainsi acquérir de nouvelles connaissances qui restaient jusque là inaccessibles. Celles-ci permettront alors d'inventer demain de nouveaux instruments, toujours plus performants (horloges, ordinateurs, accéléromètres...), qui seront eux-même les bases des nouvelles technologies d'après-demain.

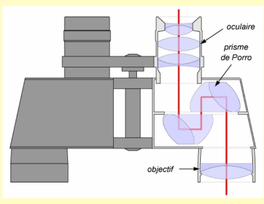


Photographie en couleur réelle d'un nuage d'atomes de rubidium lévitant dans un piège magnéto-optique

...et les jumelles

C'est un dispositif optique constitué de lentilles et de prismes.
En associant des lentilles différentes, on peut grossir ou réduire la taille d'une image. C'est aussi le principe de fonctionnement du télescope et du microscope.





Les prismes permettent de "replier" le trajet du faisceau, rendant ainsi le dispositif compact.
Les jumelles nous servent ici à agrandir le diamètre du faisceau laser pour rendre la détection de la balle plus précise.

Ils ont participé à la réalisation de l'expérience :
Thierry Billeton
Radu Chicireanu
Michel Fosse
Albert Kaladjian
Olivier Lopez
Frédéric Petit
Arnaud Pouderous
Fabrice Wiotte

Cette expérience a été réalisée avec le soutien de l'Institut Galilée et de son Département de Physique, et du Laboratoire de physique des lasers.

cnrs dépasser les frontières
LPL Laboratoire de physique des lasers
UNIVERSITÉ PARIS 13 NORD
Eppur si muove ! Institut Galilée