HISTOIRE

Jean Bernard Léon Foucault : II
Du pendule à la vitesse de la lumière

Jean-Noël Terry

Résumé : *Nous poursuivons l'évocation de la vie de Léon Foucault à travers ses expériences. Dans cette dernière partie nous présentons son expérience fameuse du pendule, le "pendule de Foucault", dont la popularité a été immense. Puis nous terminerons par l'expérience maîtresse de Foucault, expérience d'une rare difficulté : la mesure absolue de la vitesse de la lumière.*

Le pendule

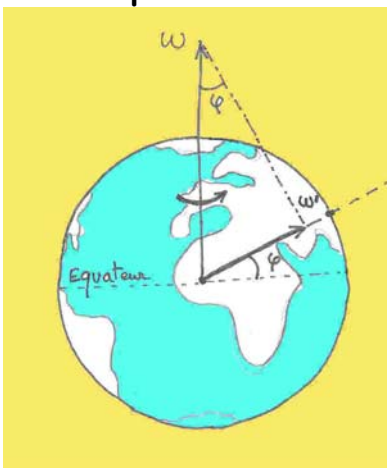
Foucault s'intéressa à un mécanisme d'horlogerie pour l'observation astronomique. Il s'agissait d'un mécanisme utilisant un pendule formé d'une baguette vibrante. Foucault avait remarqué qu'une baguette vibrante fixée dans le mandrin d'un tour de mécanique, vibrait dans un même plan, par inertie. Il eut l'idée de généraliser ceci au pendule. Les théoriciens Laplace et Poisson avaient dit que ce mouvement était si faible qu'il devait être imperceptible.

Foucault installe sa première expérience dans la cave de la maison de sa mère (maison détruite en 1894 - l'immeuble actuel, 28 rue d'Assas, est décoré d'un pendule de pierre). Le fil a deux mètres de long ; la sphère de cuivre pèse cinq kilogrammes.

Le vendredi 3 janvier 1851, de 1h à 2h, Foucault note : "Première expérience, résultat favorable ; le fil casse". Le mercredi 8 janvier 1851, 2h du matin : "Le pendule a tourné dans le sens du mouvement diurne de la sphère céleste". Le 3 février 1851, Foucault annonce sa découverte à l'Académie des Sciences.

Cette expérience est une preuve interne de la rotation de la Terre. L'observateur tourne dans le sens inverse du plan d'oscillation du pendule. Par la pensée, au pôle, la rotation du plan d'oscillation se fait au rythme d'un tour par 24 heures. En revanche, à l'équateur, il n'y a pas de rotation. En un lieu de latitude φ, la période est de 24/sinφ (voir l'encadré). A propos de cette formule, Foucault conclut : "Il faut recourir soit à l'analyse soit à des considérations mécaniques et géométriques que ne comporte pas l'étendue restreinte de cette Note".

Rotation du plan d'oscillation du pendule.



Au pôle, le pendule se balance dans une direction immuable par rapport aux étoiles. La vitesse de rotation du plan d'oscillation est celle de la Terre, soit ω=360/24 degrés par heure. Cette rotation peut se représenter par un vecteur $\vec{\omega}$. En un lieu de latitude φ, la vitesse de rotation autour d'un axe vertical est la projection de $\vec{\omega}$ sur la verticale, c'est-à-dire : $\vec{\omega}' = \vec{\omega}\sin\varphi$. Pour une latitude de 45° on voit que la vitesse est 0.7 fois plus petite. Le plan d'oscillation fait un tour en 34 heures, environ.

Pour plus de détails lisez le CC101, p17

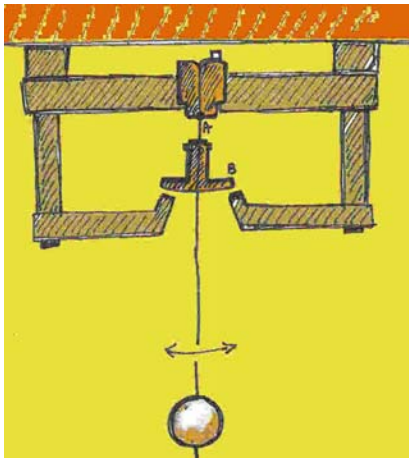
Le 3 Février, un certain nombre de personnes reçoit le billet suivant : "Vous êtes invités à venir voir tourner la Terre dans la salle méridienne[1] de l'Observatoire de Paris".

La salle de la méridienne à l'Observatoire de Paris

Le pendule a 11 mètres de fil d'acier. Pour le lancer, on brûle généralement le fil qui le maintient hors de sa position d'équilibre.

Avec l'appui de Louis Napoléon Bonaparte et d'Arago, Foucault installe, pour le public, un pendule géant au Panthéon, avec l'aide de Froment (1815-1865), le célèbre fabricant d'instruments. Le pendule est équipé d'un fil de 67 mètres de long et de 1,4 mm de diamètre. Le sol est recouvert d'un plancher et de 20 cm de terre tassée. Autour, est disposé un cercle de bois (buis) gradué, de six mètres de diamètre. Des bourrelets de sable humide sont marqués par le passage de la boule de laiton de 28 kg, faite de deux hémisphères travaillés à la main. Cette boule allonge le fil de six centimètres. Au premier essai, le fil casse et tournoie au risque de décapiter quelqu'un. Foucault équipe le système d'un "parachute" pour prévenir tout accident.

[1] Salle de 33 mètres de long où était tracée la méridienne de Cassini mesurée par Arago



Principe du "parachute". Si le fil vient à casser en A, au point de fatigue, la pièce B, solidaire du fil, empêche la chute de celui-ci.

La boule met huit secondes à l'aller et huit secondes au retour et c'est le style fixé à sa base qui marque dans le sable la déviation du plan d'oscillation (2,3 mm à chaque oscillation). Les oscillations de trois mètres d'amplitude s'amortissent. Il faut relancer le pendule après cinq ou six heures.

Le point d'attache n'est pas libre de mouvement (sauf au pôle) : il tourne et la direction de la gravité qui définit la verticale, change par rapport aux étoiles.

Alors les expériences se répandent dans le monde entier. En 1851 à Reims, Rennes, Oxford, Dublin, New-York, Genève, Rio de Janeiro, Ceylan, Rome...

Rome, où le père Secchi, à l'église Saint-Ignace (Revanche de Galilée) installe un pendule avec un fil de 31,89 m et une sphère de 28kg. Après 1h30 il remarque un mouvement elliptique dans le sens de la rotation de la Terre. Il l'attribue à un défaut. En fait c'est la rotation des apsides.

L'expérience sera refaite par Foucault en 1855 à l'Exposition Universelle de Paris. Les oscillations étaient entretenues par un électroaimant attirant la boule à chaque oscillation. En 1902, Flammarion et Berget refont l'expérience.

Une grande quantité d'articles fut publiée pour justifier le phénomène par la théorie. Les physiciens s'affrontèrent. La recherche d'un

mouvement indépendant de la latitude conduisit Foucault à l'invention du gyroscope.

C'est en avril 1853, peu après le début de ce grand succès, que Foucault soutint sa thèse sur les résultats de sa première expérience : "Sur les mesures relatives de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau". C'est ce que nous avons vu dans le premier article. Cette expérience va conduire naturellement Foucault à la mesure de la vitesse absolue de la lumière.

La mesure de la vitesse absolue de la lumière

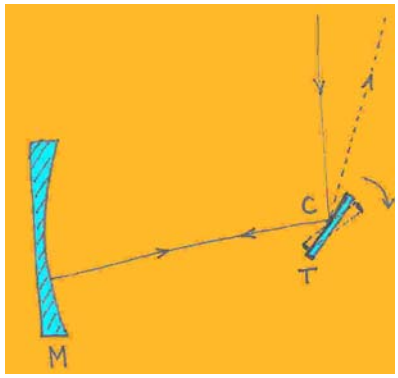
Foucault reprend des éléments de son expérience de 1850. Il créa un trajet de 20 mètres avec un relais de cinq miroirs concaves à face argentée. Une roue dentée, entraînée par un mécanisme d'horlogerie construit par Gustave Froment, permettait de régler le miroir tournant, par effet stroboscopique, à 400 tours par seconde.

Crédit: Observatoire de Paris

Horloge de Gustave Froment utilisée par Foucault en 1862, pour la mesure de la vitesse de la lumière.

Le miroir tournait grâce à une soufflerie de précision réalisée par le facteur d'orgue Aristide Cavaillé-Coll (1811-1899), alors que dans son expérience de 1850 Foucault utilisait la vapeur.

Le principe de l'expérience

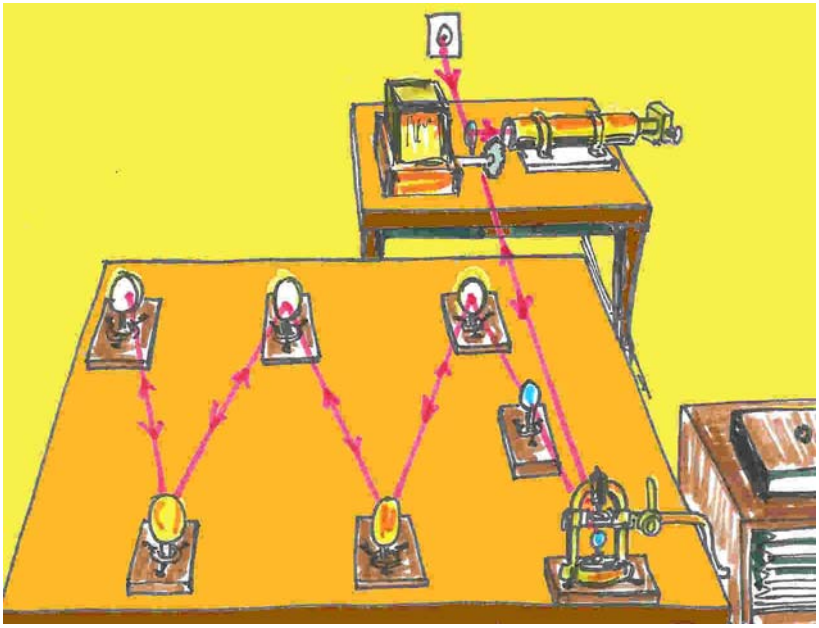


Après réflexion sur un petit miroir tournant T, un faisceau incident est envoyé vers un miroir sphérique M. Le miroir tournant est placé au centre du miroir M. Ainsi, quelle que soit la direction du faisceau arrivant sur M, le faisceau réfléchi revient par le même trajet. Mais, pendant le temps de cet aller-retour, le miroir T a légèrement tourné, de sorte que le faisceau sortant n'est plus dans la direction du faisceau incident. Pour peu que l'on connaisse la vitesse de rotation du miroir et les dimensions caractéristiques de l'expérience, la mesure de l'angle entre ces deux faisceaux conduit à la mesure de la vitesse de la lumière.

Le faisceau de retour était haché par le miroir tournant. En observant une roue dentée, tournant à vitesse connue et éclairée par le faisceau de retour, il était possible de mesurer la vitesse de rotation du miroir par stroboscopie.

En 1862 Foucault propose une valeur de 298000 km/s, moins de un pour cent d'erreur. Pour saluer l'exploit, rappelons qu'en 1984 à l'Observatoire de Paris, les astronomes Jean-Pierre Verdet et Jean Gay refirent l'expérience avec des moyens modernes (moteur, tachymètre, faisceau laser sur 60 mètres). J.-P. Verdet affirme n'avoir pu être que deux fois moins précis que Foucault.

Pour l'Exposition Universelle de 1867, ayant étudié toutes sortes de régulateurs avec l'idée de les faire entrer dans l'industrie, on demande à Foucault de faire marcher un métier à tisser et une machine à travailler le bois. Cette tâche a un côté pervers en maintenant Foucault en haleine près du régulateur. C'est en juillet 1867 qu'il ressent des symptômes de paralysie. Il mourut en moins de sept mois, à 48 ans, d'une sclérose en plaques foudroyante.



La représentation schématique de l'expérience de 1862

Le bilan

Foucault, peu reconnu en France (sa candidature à l'Académie fut refusée en 1857 et elle ne fut acceptée qu'en 1865) fut honoré dès 1855 par la médaille Copley de la Société Royale de Londres. Ce manque de reconnaissance peut s'expliquer par deux "défauts" de Foucault :
Il ne sortait pas d'une Grande Ecole.
Il n'était pas théoricien (sa thèse de doctorat en 1850 sur la vitesse relative de la lumière dans l'air et dans l'eau contenait des erreurs de calcul qu'il avait été incapable de corriger pendant la soutenance, sous le feu croisé de questions, dont celles du chimiste J.-B. Dumas.

Mais suivons Donné : «*Tout le monde ne considérait pas Foucault comme un vrai physicien... et cela, parce qu'il n'avait pas étudié toutes les parties de la science, qu'il aurait peut-être été incapable de faire un cours complet de physique élémentaire... Pour beaucoup, c'était un amateur. Lui-même, au reste, se donnait ce titre et s'en glorifiait : "**Nous sommes des amateurs mais dans le bon sens, nous cultivons les points de la science vers lesquels nous porte notre instinct***"».

Image wikimedia libre de droit

"Nous sommes des amateurs ..."