

Balance de Coulomb

Mais les expériences qui devaient le plus illustrer Coulomb sont celles où il montre que, à égalité de distance, les attractions et répulsions électriques et magnétiques sont proportionnelles aux produits de deux quantités d'électricité, et que ces mêmes actions ont lieu en raison inverse du carré de la distance. Pour cela, le couple de rotation, proportionnel à l'angle représentatif de la torsion, servira de mesure à la réaction même du fil. (V. BALANCE de torsion, TORSION.) Le couple moteur d'un disque horizontal homogène centré sera donc égal à $m\alpha$, m étant une constante, α l'angle de torsion, et l'accélération angulaire sera

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{m \alpha}{I} = C \alpha$$

en désignant par I le moment d'inertie du disque par rapport à son axe. On en déduit par intégration :

$$\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2 = -C\alpha^2 + C_1 = C(\alpha_0^2 - \alpha^2)$$

si α_0 est l'angle avant d'abandonner le disque sans vitesse

$\left(\frac{d\alpha}{dt} = 0\right)$ à la réaction du fil,

$$t = \frac{1}{\sqrt{C}} \arccos \frac{\alpha}{\alpha_0} \quad \text{ou} \quad \frac{\alpha}{\alpha_0} = \cos(t\sqrt{C}),$$

c'est-à-dire que le mouvement serait périodique, à oscillations isochrones, le temps étant compté à partir de la position initiale. La durée d'une oscillation complète est donnée par

$$t\sqrt{C} = 2\pi \quad \text{d'où} \quad C = \frac{4\pi^2}{t^2};$$

et, puisque l'on peut calculer directement le mouvement d'inertie I du disque, on peut avoir la valeur de m qui correspond à la déviation unitaire d'angle; par suite, la valeur effective de l'attraction.

— *Balance de torsion* ou *Balance de Coulomb*, Appareil construit par Coulomb en vue d'estimer les forces magnétiques des aimants naturels ou artificiels, ainsi que les forces électriques. Il est fondé sur la torsion des fils de cuivre ou d'argent, c'est-à-dire sur l'effort que fait, pour revenir sur lui-même, un fil tendu verticalement par un poids que l'on fait tourner horizontalement. Quand le fil subit une torsion correspondant à un angle α , le moment du couple qui tend à le ramener à sa position d'équilibre est proportionnel à α . (V. TORSION.) La balance se compose essentiellement d'un fil d'argent, dont la partie supérieure est enroulée à un petit treuil qui peut tourner sur un disque divisé de manière à indiquer, à l'aide d'un micromètre, les degrés de torsion ou l'angle de torsion que l'on donne au fil à son extrémité supérieure. L'extrémité inférieure du fil porte une espèce d'étrier destiné à soutenir une aiguille aimantée, quand on veut mesurer les forces magnétiques, ou une aiguille en gomme laque terminée par une balle de sureau, quand il s'agit d'évaluer les forces électriques. Une cage de verre enferme une partie du fil et supporte le treuil. Sur le contour de la cage est tracée une zone divisée en degrés, correspondant aux degrés de la circonférence. Supposons qu'on veuille vérifier les lois de répulsion des masses électriques; on introduit, par une petite ouverture percée dans la partie supérieure de la cage, une balle de sureau identique à celle qui est à l'intérieur, on met les deux balles en contact et on leur communique une charge électrique; cette charge est partagée, les deux balles se repoussent: comme celle qui est soutenue par le fil est seule mobile, il en résulte un angle α de torsion du fil. On tourne le micromètre en sens contraire d'un angle A : les deux balles se rapprochent, la torsion totale du fil est $A + \alpha$, cette torsion mesure évidemment la répulsion; si on recommence l'expérience, on obtient des angles $\alpha', A', \alpha'', A'',$ etc. On trouve que: $(A + \alpha)\alpha^2 = (A' + \alpha')\alpha'^2 = (A'' + \alpha'')\alpha''^2$. On peut sans erreur sensible supposer $\alpha, \alpha', \alpha''$ proportionnels aux distances des balles; il s'ensuit que la force répulsive qui s'exerce entre les deux balles varie en raison inverse du carré de la distance.

TORSION (du lat. *torsio*; de *torquere*, tordre) n. f. Action de tordre; état qui en résulte: *Fil raccourci par la torsion*.

— Anat. *Torsion du cœur*, Mouvement spiroïde que le cœur exécute au moment de la systole.

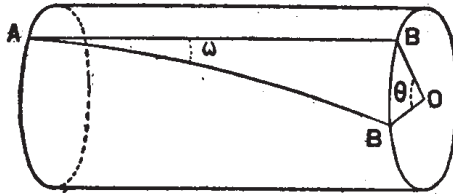
— Arboric. Action de tordre une branche pour y diminuer l'afflux de la sève et empêcher la production exagérée des feuilles.

— Mar. Commettage d'un filin.

— Physiq. *Balance de torsion*, Appareil au moyen duquel on mesure de très petites forces, par la torsion qu'elles communiquent à un fil. V. BALANCE.

— Techn. *Ressort de torsion*, Ressort formé par un fil ou une lame d'acier, contourné en spirale, et qu'on emploie surtout pour forcer les portes à se refermer automatiquement.

— ENCYCL. Physiq. et mécan. Lorsqu'on tord une tige AB fixée par une de ses extrémités, chaque section éprouve une rotation dans le sens de la torsion, par rapport à la section voisine du côté de l'extrémité fixe; il en résulte qu'un rayon OB de l'extrémité libre tourne d'un certain angle θ , le point B vient en B' et tous les points qui étaient sur la génératrice AB sont maintenant distribués sur une hélice passant par A, qui est resté fixe, et par B'. La déformation peut se mesurer soit par l'angle θ soit par l'angle ω que fait une génératrice AB dans la tige non tordue avec l'hélice correspondante AB' dans la tige tordue.



Torsion.

Pour produire cette torsion, il faut exercer sur l'extrémité soit un couple C, soit une force F appliquée perpendiculairement à l'extrémité d'un bras de levier de longueur d situé dans le plan de la section limite; on a d'ailleurs $C = Fd$. Les expériences de Coulomb, complétées par celles d'autres physiiciens ou ingénieurs, ont montré que C est proportionnel à l'angle θ , varie en raison inverse de la longueur e de la barre et proportionnellement à un certain terme du quatrième degré B' dépendant des dimensions de la section de base: on peut écrire finalement

$$C = G\theta \frac{B'}{e},$$

où θ est exprimé en radian (57° environ).

G est un facteur caractéristique de la matière qui constitue la tige. C'est le *coefficient* ou *module de torsion*. Le coefficient B' a les valeurs suivantes:

pour un cylindre à base circulaire de rayon r $B' = \frac{\pi r^4}{2}$;

pour un tube de rayons extérieur et intérieur r et r'

$$B' = \frac{\pi(r^4 - r'^4)}{2};$$

pour un prisme à base rectangle $B' = \frac{ab(a^2 + b^2)}{12}$.

On pourra, dans la formule précédente, exprimer les masses en grammes, les longueurs en centimètres; la force unité est alors la dyne. On a alors le coefficient G exprimé dans le système CGS employé par les physiiciens. Les ingénieurs et les constructeurs expriment plutôt les longueurs en mètres et les forces en kilogrammes; le coefficient de torsion a alors une valeur G' environ cent fois plus faible que G.

Voici les valeurs de G, en unités CGS, pour différents corps: Fer 7 à 8×10^{11} ; acier 7 à 10×10^{11} ; fonte 4×10^{11} ; cuivre $4,3 \times 10^{11}$; bronze 3×10^{11} ; platine $6,8 \times 10^{11}$; argent $2,7 \times 10^{11}$; verre 3×10^{11} ; quartz fondu $2,5 \times 10^{11}$; bois divers $0,45 \times 10^{11}$.

Voyons ce que signifient pratiquement ces nombres. Prenons des fils de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre de diamètre; pour tordre ce fil à son extrémité libre d'un angle droit (l'angle ω correspondant à alors une valeur d'environ 1/20 de degré), il faut appliquer à l'extrémité d'un bras de levier de 10 centimètres un poids de 157,4 pour l'acier; 127,5 pour le platine, 47,2 pour l'argent, 27,8 pour le quartz.

Mais on peut obtenir des fils de diamètre beaucoup plus faible, comme ceux que l'on emploie dans un grand nombre d'appareils, en particulier dans les instruments de mesures électriques; en admettant que l'on puisse apprécier une torsion de 1', chose assez facile, on peut mettre en évidence des forces excessivement faibles: par exemple si les forces s'exercent sur un bras de levier de 1 centimètre, et si le fil de torsion a 10 centimètres de longueur, ce qui se rencontre dans beaucoup d'expériences de physique, on atteindra les limites suivantes:

Avec l'argent, qui permet d'obtenir des fils de 1/20 de millimètre de diamètre, des forces de 5 dix-millièmes de milligramme;

Avec le platine, qui permet d'obtenir des fils de 1/50 de millimètres, des forces de 3 cent-millièmes de milligramme;

Enfin, avec le quartz, on peut avoir des fils de 1/200 de millimètre et mettre en évidence des forces de moins de milliardième de milligramme. V. BALANCE de torsion.

On voit par là quel intérêt les phénomènes de torsion ont pour le physiicien; c'est à un tout autre point de vue qu'ils intéressent le constructeur: considérons un arbre de transmission qui porte deux roues d'engrenage, dont l'une reçoit la puissance motrice et dont l'autre doit vaincre la résistance à surmonter. Cet arbre est soumis à un effort de torsion et il faut que cet effort ne dépasse pas une certaine limite, après laquelle on pourrait craindre la rupture de l'arbre.

L'expérience a montré que l'angle ω ne devait pas dépasser une certaine valeur, qui dépend de la matière qui constitue l'arbre, mais que l'on peut en moyenne prendre la valeur de 1/50 de degré pour les arbres qui reçoivent directement la puissance du moteur; 1/25, c'est-à-dire le double, pour les arbres de transmission secondaires. Au-delà de cette limite, la déformation croît plus vite que celle qui la produit; il reste ensuite une déformation permanente, même lorsque la résistance cesse d'agir, et on atteint la rupture pour des angles 5 à 6 fois plus grands. La valeur de l'angle θ , correspondant à $\omega = 1/25$ de degré,

$\theta = \frac{e}{r} \operatorname{tg} \omega =$ sensiblement $0,000667 \frac{e}{r}$ on a par suite:

$$C = \frac{\pi r^4}{2} G \times 0,000667 \text{ ou en posant } t = G \times 0,000667 C = \frac{\pi r^3}{2} t.$$

C'est ce qu'on appelle la *charge de cisaillement* admissible pour une certaine construction; elle dépend de la valeur admise pour l'angle ω . En prenant le kilogramme et le mètre pour unités de forces et de longueur, on a sensiblement:

$t = 4.500.000$ kgr. par mètre carré pour le fer et l'acier;
 $t = 300.000$ kgr. — pour les divers bois.

Par exemple, pour un arbre d'acier de 10 centimètres de diamètre, la force maximum qui doit s'exercer à l'extrémité d'un bras de levier de 1 mètre sera:

$$F = 4.500.000 \frac{\pi \times (0,1)^3}{2} = 7.900 \text{ kilogrammes.}$$

C'est à peu près le poids d'un mètre cube d'acier, près d'une tonne.