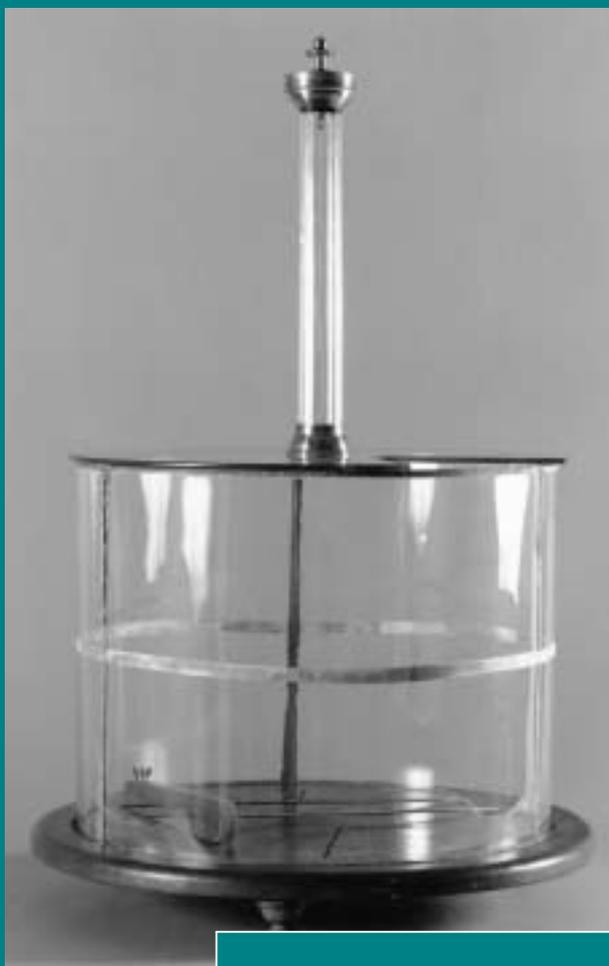


L E S

musée des arts et métiers

C A R N E T S

## LA BALANCE DE COULOMB



*« C'est à Borda et à Coulomb que l'on doit la naissance de la véritable physique en France, non pas de la physique verbeuse et hypothétique, mais de cette physique ingénieuse et exacte qui observe et compare tout avec rigueur. »*

Jean-Baptiste Biot,  
*Mélanges scientifiques et littéraires*,  
tome III, 1858

La balance de Coulomb  
Inv. 1665

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

L E S O B J E T S

## La balance de Coulomb

### ■ Le développement des électromètres

Plus le XVIII<sup>e</sup> siècle avance, plus les physiciens ont besoin d'instruments de mesure sensibles et fiables. Des dispositifs nouveaux apparaissent, qui font découvrir des propriétés insoupçonnées de l'électricité. Comment mesurer celles-ci ? Un problème majeur contrecarre les premiers essais : l'absence d'une unité fondamentale de mesure reconnue par tous les savants et indépendante de leurs instruments.



Électromètre de Peltier – Balance de Torsion (1843), inv. 2877

On distingue trois catégories parmi les instruments antérieurs à la balance de Coulomb.

Les premiers, présentés dans le tableau ci-après, sont fondés sur l'attraction de charges contraires ou la répulsion de charges identiques, à la manière de la balance de Coulomb présentée dans le mémoire de 1785.

Les étincelles caractérisent le second groupe d'électromètres par la longueur minimale de leur apparition, ou le nombre d'étincelles de longueur donnée émises en un temps fixé. C'est l'électromètre de Timothy Lane inventé en 1766.

Le troisième groupe d'électromètres s'appuie sur la quantité de chaleur dégagée par la décharge électrique.

C'est le thermomètre à air électrique réalisé en 1761 par Ebenezer, un ami de Benjamin Franklin.

#### Électromètres à attraction ou répulsion électrique

- Boule de soufre frottée et corps légers – Von Guericke (1700)
- Fils de laine sur cerceau de cuivre autour d'un globe de verre électrisé – Hauksbee (1740)
- Fil sur bâton mobile – Desaguliers (1741)
- Écartement de deux fils électrisés devant une planche graduée : premier électroscope – Nollet (vers 1750)
- Premier électroscope portable – Canton (1753)
- Électroscope avec fils d'argent et pièces de liège dans un récipient en verre sur lequel sont collées deux bandes d'étain (sorte de prise de terre) – Cavallo (1777)
- Électroscope avec deux pailles – Volta
- Électromètre à quadrant : un bras unique se déplace devant une graduation – Henley (1770)
- Balance électrique et balance magnétique de Coulomb (1785)
- Électromètre à quadrants reposant sur la torsion d'un fil : deux paires de quadrants à des potentiels différents font tourner une plaque métallique chargée – Thomson (2 types entre 1850 et 1860), modifiés par Branly et Mascart.
- Électromètre de précision à fil de torsion en quartz – Dolezaleck (1897) – Pierre Curie



Électromètre à quadrants, inv. 15303

## La balance de Coulomb

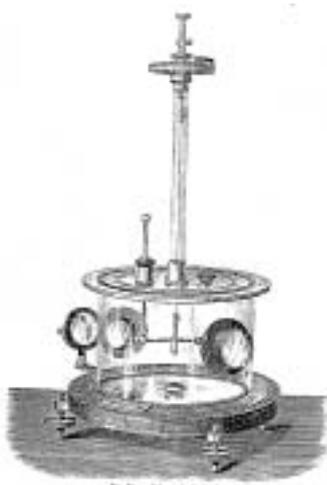


Schéma de la balance de Coulomb, J. Lefèvre, Dictionnaire d'électricité et de magnétisme, 1891

### ■ Description de la balance de Coulomb

La balance de torsion est formée de deux cylindres en verre, posés l'un sur l'autre. Autour du grand cylindre inférieur est collée une bande de papier divisée en 360 degrés. Ce cylindre est surmonté d'un deuxième cylindre plus étroit. L'ensemble mesure environ 1 m de haut. Un trou percé dans le couvercle du cylindre inférieur permet d'introduire une première boule de sureau de 5 mm de diamètre, fixée au bout d'une tige. À la partie supérieure du long tube est fixé un micromètre, ensemble de deux pièces métalliques dont l'une est fixe et divisée sur son contour en 360 degrés, et l'autre mobile qui est placée par-dessus et porte sur le contour divisé un repère indiquant l'angle dont elle tourne. Dans ce micromètre est pincé un fil d'argent très fin qui peut être tordu sur lui-même de façon contrôlée. Ce fil, tendu

verticalement par un poids à sa partie inférieure, soutient en même temps un bras horizontal léger. Ce bras comporte, d'un côté, une deuxième boule de sureau et, de l'autre, un fin disque de papier qui, d'une part, assure l'équilibre du bras, et d'autre part, freine ses oscillations.

### ■ Expérience

Avant de commencer les expériences, on s'assure que la torsion du fil est nulle (le repère du micromètre est au zéro). La boule fixe se trouve en face d'une division sur la feuille de papier : ce sera la division zéro. On retire alors la boule fixe (en la tenant par sa tige isolante : paille enduite de cire d'Espagne), on l'électrise en la mettant en contact avec une source d'électricité, comme une machine électrostatique à plateau tournant. Puis on la remet délicatement dans la cage. Aussitôt, la boule mobile est attirée puis, s'électrisant au contact de la précédente,

est repoussée et s'arrête après quelques oscillations : la torsion du fil contre-balance la force répulsive qui s'exerce entre les deux boules.

### ■ Principe de la mesure

On fait deux fois la mesure en variant la torsion du fil, et par conséquent la distance entre les deux boules. De la comparaison des résultats est déduite la relation entre la force et la distance. Avec la même charge électrique sur les deux boules, on procède à deux torsions successives du fil. En conséquence, la distance d'interaction entre les deux forces électriques varie. L'étude comparée des torsions – et donc des forces qui leurs sont égales – et des distances permet d'établir la relation qui lie force et distance.

## La balance de Coulomb

### Mesure

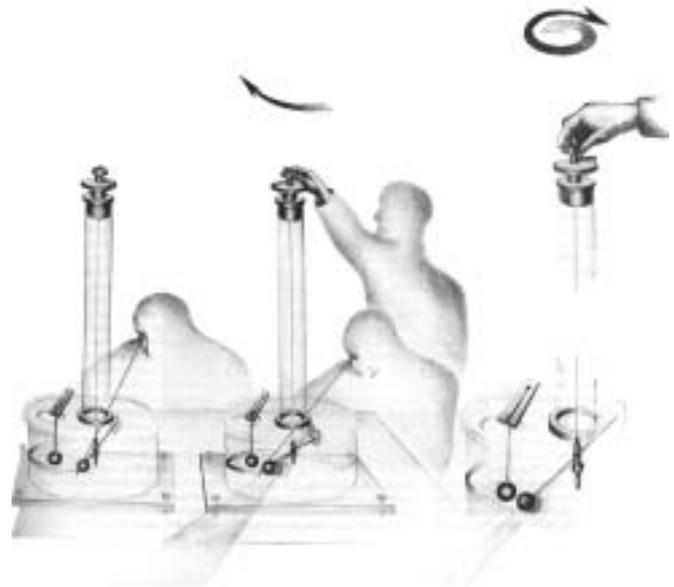
Première torsion: L'électrisation de la boule A entraîne la boule B à s'écarter, ce qui tord le fil par exemple de  $36^\circ$ , lus sur la graduation du cylindre de verre.

Deuxième torsion: Pour ramener la boule B à un écart de  $18^\circ$  – c'est-à-dire à une distance deux fois moindre – on doit tourner le micromètre à la main de  $126^\circ$  dans le sens contraire. Les deux torsions vont ainsi s'ajouter:  $126^\circ$  dans un sens pour la seconde torsion, auxquels s'ajoutent les  $18^\circ$  dans l'autre sens de la première torsion, soit  $144^\circ$ . Ainsi, quand la distance angulaire est divisée par 2, (c'est-à-dire qu'en passant de  $36^\circ$  à  $18^\circ$  elle est deux fois moindre), il faut pour ramener l'équilibre, une torsion quadruple du fil à  $144^\circ$  (c'est-à-dire:  $144^\circ = 36^\circ \times 4$ ). Comme, à l'équilibre, la force de torsion est toujours égale et opposée à la force électrostatique s'exerçant entre les deux boules, on peut en conclure que la force électrostatique est quatre fois plus grande pour une distance deux fois moindre.

Angle de déviation du bras	Torsion du fil	Force électrique	Distance des boules
$36^\circ$	$36^\circ$	F	D
$18^\circ = 36/2$	$126 + 18 = 144^\circ$	$F'F \times 4$	$D'D/2$

Ainsi est établie la loi de l'électrostatique du premier mémoire de Coulomb sur l'électricité:

**les forces électriques s'exercent en raison inverse du carré de la distance.**



Dessin de l'expérience (Les Cahiers de Science et Vie)

### Une expérience étonnante

Un physicien allemand a récemment tenté de répliquer la balance: plus de six mois furent nécessaires pour obtenir des résultats admissibles. Alors qu'aujourd'hui, la valeur générale d'une loi repose sur un très grand nombre de mesures, il faut noter que Colomb a convaincu avec seulement trois mesures.

Si les lois électriques et magnétiques sont aujourd'hui parfaitement admises, il n'est pas sans importance de constater que nous ne savons rien sur la façon dont Coulomb y est parvenu, et que la simple réplification de cette balance fait naître bon nombre de questions sur les conditions de la pratique scientifique au XVIII<sup>e</sup> siècle.

*La balance de Coulomb*

### ■ Une vie

Ingénieur militaire, issu de la prestigieuse École royale du génie de Mézières, Charles Augustin Coulomb est aussi un fin expérimentateur, distingué par l'Académie des Sciences.

Sa double compétence, technique et scientifique, en fait l'une des figures les plus marquantes de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle en Europe. Il s'illustre aussi bien dans la réalisation de nombreuses

constructions que dans les recherches scientifiques sur l'électricité, le magnétisme et la mécanique appliquée. Son nom demeure attaché à la célèbre balance de torsion pour la mesure des faibles forces.

Élu membre adjoint en mathématiques, il y présentera cinq mémoires : deux en mathématiques et trois en astronomie. Admis en 1760 à l'École du génie de Mézières avec le grade de lieutenant en second, il en sort lieutenant en premier. Il y reçoit une formation pratique et théorique, enrichie par ses projets de construction qui lui permettent de poser les problèmes concrets de son métier.

### ■ Une jeunesse passionnée de sciences

Coulomb naît à Angoulême le 14 juin 1736. De famille aisée – son père est inspecteur des Domaines du Roi – il entreprend de brillantes études au collège des Quatre Nations (collège Mazarin) à Paris et assiste aux cours du mathématicien Le Monnier au Collège royal de France.

Charles Augustin suit son père dans le Midi où son cousin Louis, juriste et membre de la Cour des Comptes et Aides de Montpellier, l'introduit dans le milieu scientifique local et lui permet de fréquenter le Collège des Jésuites. À 21 ans, il présente son premier article à la Société des sciences de Montpellier.

### ■ Le talent d'un ingénieur militaire du Génie

En tant qu'ingénieur militaire, Coulomb effectue, au cours de ses vingt ans de carrière, de nombreuses missions en France et à l'étranger. Il fait construire en Martinique le Fort Bourbon dans la ville de Port Royal (aujourd'hui Fort-de-France), afin de protéger l'île de la flotte anglaise. Un tel travail, le plus important de sa carrière, six ans seulement après sa sortie d'école, le distingue auprès des autorités.



Portrait de Charles Augustin Coulomb

## La balance de Coulomb

Il mène en même temps plusieurs recherches applicables aux travaux des officiers du Génie, et développe à ces occasions ses premières théories scientifiques.

De retour en France, il rédige son premier mémoire important *Sur une application des règles de maximis et de minimis à quelques problèmes statiques relatifs à l'architecture* qui lui vaut son admission comme correspondant à l'Académie des sciences. Ses missions d'ingénieur s'accroissent : dans le Cotentin (1774-1776), à Besançon (1777) où il s'occupe de la réparation du fort, à Rochefort (1779), à Lille (1780). Il rédige alors son mémoire sur *les moyens d'exécuter sous l'eau des travaux hydrauliques* (1779), lequel remporte un vrai succès parmi les ingénieurs.

### ■ Du chantier à l'Académie des sciences

Profitant de son temps libre, Coulomb mène des travaux scientifiques qui le distinguent : il reçoit en 1777 le prix de l'Académie des sciences pour ses « *Recherches sur la meilleure manière de fabriquer des aiguilles aimantées* », qui contiennent déjà ses premières idées sur le magnétisme, l'électricité, le frottement, la résistance des fluides et la torsion. C'est d'ailleurs pour ses recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des forces de métal qu'il inventera sa première balance. Élu à l'Académie des sciences comme adjoint mécanicien le 12 décembre 1781, il revient à Paris, enfin reconnu. Dès lors « toutes ses pensées se tournent vers les recherches de magnétisme et d'électricité qui ont fait sa gloire » comme le rappelle Joseph Delambre, académicien et auteur d'un *Éloge historique de Coulomb*.

C'est à cette époque qu'il réalise sa fameuse balance électrique. Désormais installé, Coulomb fonde une famille en épousant Louise Françoise le Proust des Ormeaux en 1802, dont il aura deux fils.

### ■ Une notabilité scientifique et technique

Les honneurs accompagnent sa notoriété : il est désigné comme membre des 300 commissions d'examen des travaux d'inventeurs (modèle de fusil, machine de fabrication de pièces de monnaie, pompe à eau, plans d'une machine à broyer le sucre...), nommé intendant des eaux et fontaines de France (1784) ; il est promu lieutenant-colonel (1786), major du génie et conservateur des plans et reliefs. Lorsque la Révolution éclate, il se réfugie à Blois, avec son ami Borda, démissionnant du génie en 1790, mais continuant ses travaux pour l'Académie. Il sera plus tard membre résident de la section de

physique expérimentale au sein de l'Institut de France et décoré de la Légion d'honneur. Après la création des lycées en 1802, Coulomb est nommé inspecteur général.

Très affaibli et malade, il meurt à son domicile le 23 août 1806.

## La balance de Coulomb

### ■ Aux réserves du Musée

Balance de torsion,  
date d'entrée 1898  
*inv. 13067*

Buste de Charles Coulomb, 1853  
*inv. 36601*

Électromètres de Brown  
*inv. 1659*

Électromètres, 1836  
*inv. 15244*

Électromètre de décharge avec  
bouteille de Leyde  
*inv. 1664*

Électromètre de Peltier, 1836  
*inv. 15245*

Électromètre de Peltier ou  
balance de torsion, vers 1840  
*inv. 2877*

Électromètre de Mascart,  
achat 1878  
*inv. 8981*

Électromètres à quadrans, 1880  
*inv. 15303*

Électromètre à quadrants  
de Curie, 1885  
*inv. 15312*

Électromètres,  
date d'entrée 1950  
*inv. 19407*

Électromètre à quadrans  
*inv. 20109*

Électromètre Curie à lames de  
quartz, date d'entrée 1953  
*inv. 20301*

Boussole d'inclinaison et  
de déclinaison, 1732  
*inv. 7483*

Boussole de déclinaison ou  
appareil d'étude du  
magnétisme terrestre,  
date d'entrée 1853  
*inv. 20304*

Magnétomètre ou  
déclinomètre, boussole  
mesurant les variations diurnes  
de la déclinaison de Ch. Brooke,  
date d'entrée 1852  
*inv. 5273-1*



Électromètre de Mascart



Boussole de déclinaison  
de Gambey

### ■ En exposition au Musée

Balance magnétique de  
Coulomb, vers 1789  
*inv. 1665*

Grand électromètre de Brown,  
date d'entrée 1807-1814  
*inv. 1658*

Électromètre de Saussure,  
date d'entrée 1807-1814  
*inv. 1661*

Électromètre de Bennet,  
date d'entrée 1807-1814  
*inv. 1662*

Électromètre à pailles  
*inv. 1663*

Électromètre à balle  
de sureau et à cadran  
*inv. 4286*

### ■ Archives

Dossier : graphiques pour  
la comparaison des  
nouvelles mesures avec les  
anciennes et celle d'autres  
pays, Archives du Musée  
R-63

Dossier : fabrication  
d'étalons de mesures de  
capacités, Archives du  
Musée R-64

### POUR EN SAVOIR PLUS

*La mesure de la force électrique – Une énigme au bout d'un fil*, Paris, Les Cahiers de science et vie, coll. Les grandes expériences de la physique, n° 26, avril 1995

Christine Blondel et Matthias Dörries, (édité par), *Restaging Coulomb. Usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion*, Firenze, Biblioteca di Nuncius, Istituto e museo di storia della scienza, Leo S. Olschki, 1994.

J. Rosmorduc et M. Saillard (sous la direction de), « La physique newtonienne, à la fin du XVII<sup>e</sup> et au XVIII<sup>e</sup> siècle », in *Histoire de la physique – La formation de la physique classique*, Paris, éditions Technique et Documentation – Lavoisier, 1987, pp. 110 – 149.

Christine Blondel, *Histoire de l'électricité et du magnétisme*, édition Presse Pocket, 1994

Les collections du Musée des arts et métiers sont aussi consultables sur Internet.

Adresse électronique : <http://www.cnam.fr/museum/>

## La balance de Coulomb

## De l'électricité dans la nature

Il faut: deux pailles en plastique, une feuille de papier machine, du papier de soie, des crayons de couleurs, un chiffon de laine, un peigne en plastique, une aiguille et du fil.

## Amies ou ennemies ?

Réunissez deux pailles à l'aide de l'aiguille et du fil. Laissez pendre côte à côte les deux pailles.

Chargez-les ensemble en les frottant énergiquement avec le chiffon.

Puis tenez le fil en laissant pendre les pailles: elles se repoussent.



## La paille électrisée

Découpez des petits morceaux dans le papier de soie. Chargez une paille en la frottant énergiquement à la laine. Approchez-la des petits papiers: ils se mettent à sauter.

## L'eau obéissante

Frottez le peigne avec la laine, puis ouvrez le robinet de façon à former un petit filet d'eau. Approcher délicatement le peigne de l'eau: l'eau s'approche et se courbe.

## Un détecteur d'électricité

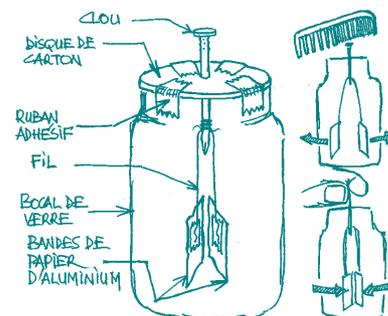
Il faut: un rond en carton, du papier d'aluminium, du fil, un peigne en plastique, du ruban adhésif, un bocal en verre.

Percez le carton en son centre avec le clou.

Nouez le fil par son milieu autour du clou. Coupez deux petites bandes d'aluminium et les collez-les aux deux extrémités du fil. Fermez le bocal avec le disque, en laissant pendre le fil et les bandes d'aluminium à l'intérieur.

Scotchez le couvercle ainsi constitué.

Chargez le peigne en le frottant aux cheveux (bien secs). Faites glisser les



dents de peigne sur le clou: les bandelettes s'écartent, et indiquent ainsi que le peigne est chargé d'électricité statique.

En général, un objet contient autant de charges négatives (-) que de charges positives (+): l'objet est neutre. Si l'on frotte cet objet, on peut détruire cet équilibre. Par exemple, la paille (ou le peigne) frottée prend des charges négatives à la laine et se charge négativement: elle peut attirer les petits corps, ou repousser une autre paille chargée de la même électricité. Avec l'électroscope ou la balance de torsion, on détecte la présence de charges électriques.

• Rédaction: Claudette Balpe  
 • Schémas: Serge Picard  
 • Coordination: Claudette Balpe  
 • Conception graphique: Atelier Michel Bouvet  
 • Photos: Alain Matthieu / Les Cahiers de Science et Vie (p 4);  
 Musée des Arts et métiers – CNAM Photo Pascal Faligot / Seven Square;  
 Musée des Arts et métiers / Studio Photo CNAM  
 • Musée des arts et métiers, Service éducatif  
 292, rue Saint-Martin – 75003 Paris  
 ISBN: 2-908207-71-0