

## 1 PRÉSENTATION

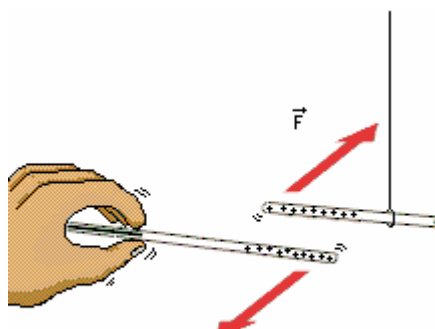
Electricité, ensemble des phénomènes dus aux charges électriques au repos ou en mouvement. Lorsque ces charges sont immobiles, elles engendrent des champs électriques qui peuvent influencer les corps environnants ; lorsque les charges sont en mouvement, elles génèrent des champs magnétiques.

L'électricité se divise en plusieurs branches : **l'électrostatique**, qui s'intéresse aux corps électrisés, sans circulation de courants ; **l'électrocinétique**, qui étudie les courants électriques de manière générale ; l'électrodynamique, qui traite plus particulièrement des actions dynamiques entre courants électriques ; **l'électromagnétisme**, qui analyse les actions réciproques des aimants et des courants ; l'électronique, qui utilise la structure granulaire de l'électricité pour échanger de l'information, ou encore l'électrochimie, qui s'intéresse aux transformations d'énergie électrique en énergie chimique et réciproquement.

## 2 HISTORIQUE

### 2.1 Électrostatique

Définition : Répulsion de charges semblables Deux tiges portant la même charge se repoussent mutuellement. Pour observer ce phénomène, considérons deux tiges de même nature (en ébonite, par exemple). Frottons-les avec un mouchoir de soie, suspendons l'une d'entre elles à un fil, puis approchons l'autre de la tige suspendue. Cette dernière pivote alors en s'écartant de la première tige.



Les phénomènes électrostatiques d'attraction et de répulsion, obtenus en frottant de l'ambre ou d'autres substances vitreuses, étaient connus dès la haute Antiquité. Ils sont notamment cités par les philosophes grecs Thalès (VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C.) et Théophraste (IV<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> siècle av. J.-C.). Mais ce n'est qu'en 1600 que le physicien anglais William Gilbert publia une première analyse méthodique,

proposant le terme « électrique » (du grec *élektron*, « ambre ») pour décrire la force engendrée par ces corps vitreux. On sait aujourd'hui que le frottement d'une baguette d'ambre ou de verre sur une étoffe arrache des électrons aux atomes de cette dernière pour les transférer sur la baguette : celle-ci est alors chargée négativement et peut donc exercer une force électrostatique sur son environnement.

En 1672, le physicien allemand Otto von Guericke conçut la première machine électrostatique, qui produisait des charges par effet mécanique. Elle était constituée d'une sphère de soufre que l'on faisait tourner à la manivelle : une charge y était induite lorsqu'on touchait la sphère de la main. Cet appareil permit d'obtenir la première étincelle électrique. En 1733, le chercheur français Charles François de Cisternay Du Fay établit la distinction entre charges positives et charges négatives, qu'il appela respectivement *électricité vitrée* et *électricité résineuse*.

Le premier condensateur, dispositif accumulant des charges électriques pour les libérer ensuite, fut mis au point en 1745. Appelé *bouteille de Leyde*, ce condensateur était constitué d'une bouteille en verre recouverte d'une feuille d'étain, qui constituait l'armature externe. L'armature interne se composait de feuilles de clinquant (or ou argent par exemple) reliées à une tige métallique, le tout placé dans la bouteille.

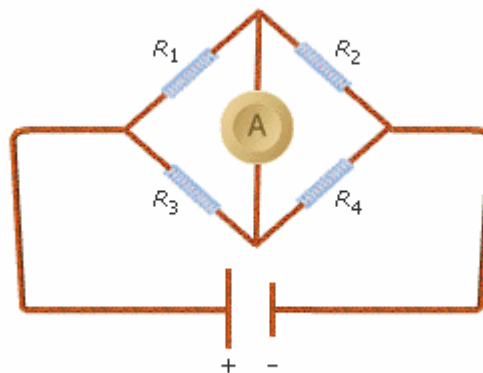
En 1752, Benjamin Franklin réalisa une expérience célèbre : il recueillit, par le biais d'un cerf-volant, l'électricité atmosphérique — responsable de la foudre et des éclairs —, prouvant qu'elle était de même nature que les charges électriques de la bouteille de Leyde. Il expliqua les phénomènes observés en émettant l'hypothèse que les manifestations électriques étaient dues à un manque ou à un excès d'un « fluide » présent dans toute substance.

Simultanément se développait une théorie mathématique de l'électricité. En 1767, le chimiste anglais Joseph Priestley observa que l'électrisation des conducteurs demeurait superficielle, et envisagea que « l'attraction de l'électricité est soumise aux mêmes lois que celles qui gouvernent la gravitation ». Cette hypothèse fut démontrée expérimentalement en 1785 par Charles de Coulomb, qui put mesurer avec précision les forces exercées par les charges électriques grâce à un appareil de son invention, la *balance de torsion*.

## 2.2 Électrocinétique

**Définition** : Pont de Wheatstone : Le pont de Wheatstone consiste en un circuit électrique quadrilatéral comportant trois résistances connues et une résistance à déterminer, montées chacune sur les quatre côtés du quadrilatère. Un

générateur de courant continu alimente deux points opposés du quadrilatère et les deux autres points sont reliés à un galvanomètre qui mesure la différence de potentiel (tension) ou l'intensité du courant de cette diagonale formant ainsi un pont. Lorsque cette différence de potentiel est nulle (aucun courant ne passant par le galvanomètre), le pont est à l'équilibre et les produits en croix des résistances sont égaux :  $R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3$ . Ainsi, en faisant varier la valeur de l'une des résistances connues, on équilibre le pont, ce qui permet de déterminer la valeur de la résistance inconnue.

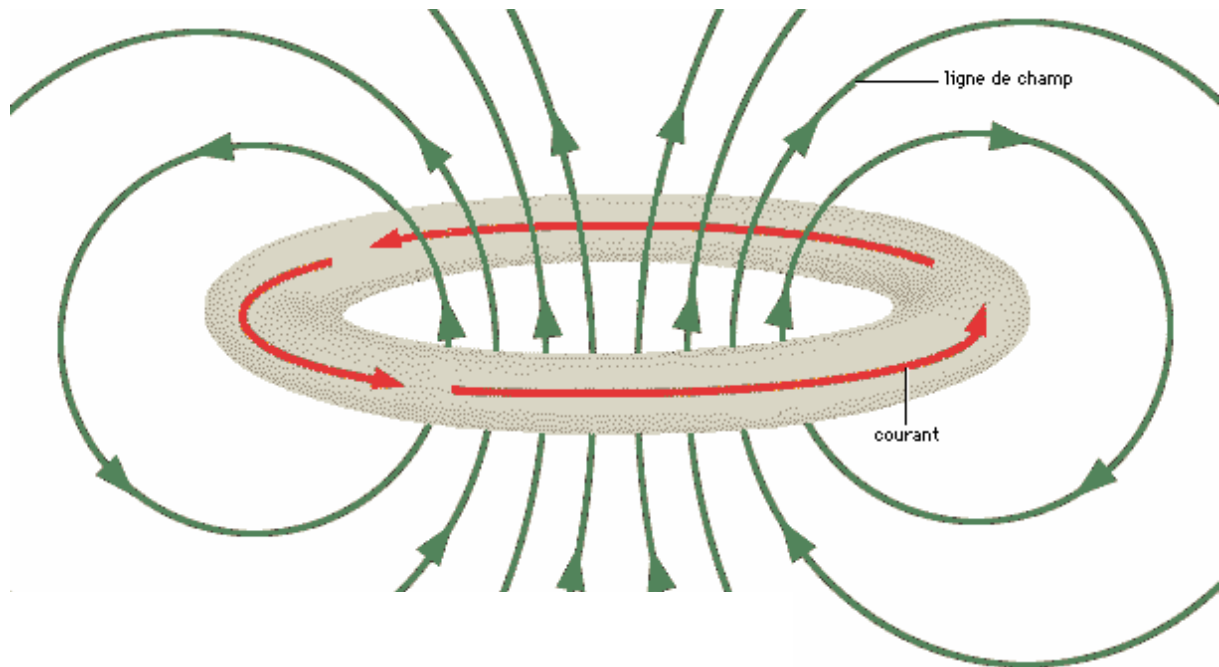


L'électrocinétique se développa à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle grâce aux travaux des physiciens italiens Luigi Galvani et Alessandro Volta, qui découvrirent que le mouvement de charges électriques produisait un courant. Galvani observa notamment que les muscles d'une grenouille se contractaient lorsqu'il leur appliquait un courant électrique en cours de dissection : les phénomènes biologiques se révélaient donc, eux aussi, de nature électrochimique. Volta, pour sa part, construisit en 1800 la pile chimique, première source de courant électrique continu.

Suivirent alors de nouvelles découvertes en électrocinétique et en électrochimie, comme l'électrolyse par les Anglais Nicholson et Carlisle en 1800, l'arc électrique par Davy vers 1811, ou encore la pile électrique de Leclanché en 1868. Par ailleurs, les travaux d'Ohm et de Kirchhoff permirent d'établir les lois des courants, tandis que Wheatstone utilisait en 1844 son fameux pont pour mesurer les résistances (*voir* Électriques, mesures) et que Joule découvrait l'effet thermique qui porte son nom.

## 2.3 Électromagnétisme

Définition : Lignes de champ magnétique Lorsqu'un courant électrique circule dans une spire, il induit un champ magnétique qui peut être représenté par ses lignes de champ, courbes tangentes en chaque point à la direction du champ.



L'électromagnétisme naquit des travaux du chercheur danois Hans Ørsted, qui observa en 1819, lors d'une expérience restée célèbre, qu'un courant électrique génère dans son entourage un champ magnétique. André-Marie Ampère reprit cette expérience pour étudier l'influence des courants électriques sur les aimants, ce qui permit d'élaborer en 1822 la première théorie mathématique de l'électromagnétisme. En 1831, Michael Faraday montra qu'un courant circulant dans une bobine pouvait induire un second courant électrique dans une bobine voisine, découvrant ainsi l'induction.

En 1873, le Britannique James Maxwell publia un ouvrage de référence, dans lequel sont exposées les équations générales du champ électromagnétique. Ces découvertes eurent rapidement de nombreuses répercussions dans le domaine des télécommunications : le physicien allemand Heinrich Hertz produisit en 1887 des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère et, en 1896, l'ingénieur italien Guglielmo Marconi mit au point le premier système de transmission et de réception d'ondes radioélectriques (*voir* Radio).

## 2.4 Premières applications

L'électricité fut exploitée comme source d'énergie et de travail à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment grâce aux travaux d'Edison et de Tesla. Quant à l'électronique, fondement de la théorie moderne de l'électricité, elle se

développa tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, à commencer par la première mesure précise de la charge de l'électron, effectuée en 1909 par le physicien américain Robert Millikan. L'électronique connut rapidement de nombreuses applications dans le domaine des télécommunications, en optique (microscopes électroniques) et dans le traitement de l'information.

## 3 CONDUCTION DES CORPS

### 3.1 Conducteurs

Certaines substances sont constituées d'atomes pouvant libérer un ou plusieurs électrons qui se déplacent dans le réseau atomique du matériau, produisant alors un courant électrique. Ces substances, qui peuvent être solides, liquides ou gazeuses, sont appelées conducteurs. Les meilleurs conducteurs sont les métaux, en particulier le cuivre et l'argent. Il existe également des liquides conducteurs comme les solutions électrolytiques, dans lesquelles les ions positifs se dirigent vers les points de faible potentiel, alors que les ions négatifs se déplacent dans le sens opposé (*voir* Électrochimie). De même, dans un gaz ionisé, les ions se déplacent dans deux directions opposées selon leur charge, en générant un courant (*voir* Arc électrique ; Éclairage électrique). On remarque donc que le courant électrique produit par les liquides et les gaz conducteurs est dû en fait à un double flux d'ions, à la différence de ce qui se produit dans la plupart des solides conducteurs, où le flux des électrons est unilatéral.

### 3.2 Isolants

Les corps qui ne possèdent pas d'électrons libres ne peuvent donc pas conduire le courant électrique : ils sont appelés isolants (ou encore diélectriques). On peut citer comme isolants le verre, le caoutchouc ou encore le bois sec. *Voir aussi* Isolation.

### 3.3 Semi-conducteurs

Dans certains matériaux, un petit nombre d'électrons s'échappent des atomes en laissant des « lacunes ». Ces lacunes, correspondant à l'absence de charge négative, se comportent donc comme une charge positive. L'application d'un champ électrique peut alors provoquer dans le matériau un déplacement d'électrons (et des cavités positives associées), ce qui produit un courant électrique. De tels matériaux, appelés semi-conducteurs, présentent généralement une résistance plus importante au passage du courant qu'un conducteur comme le cuivre, mais en revanche une résistance plus faible qu'un

isolant comme le verre. Si la majorité du courant est due à des électrons, le semi-conducteur est dit de type N. Si la majorité du courant est due, au contraire, aux cavités chargées positivement, le semi-conducteur est dit de type P. On utilise les semi-conducteurs dans la fabrication des transistors.

### 3.4 Supraconducteurs

Un conducteur parfait n'offrirait aucune résistance au passage d'un courant électrique, de même qu'un isolant parfait ne laisserait passer aucune charge. Cependant, de tels matériaux n'existent pas dans la nature, du moins à température ambiante. Toutefois, certains métaux et composés métalliques perdent toute résistance et deviennent de remarquables conducteurs aux basses températures proches du zéro absolu. Ces matériaux sont appelés supraconducteurs.

## 4 ÉLECTROSTATIQUE

L'électrostatique étudie les forces de répulsion et d'attraction qui s'exercent entre des charges électriques immobiles. Ces forces se mesurent en coulombs (de symbole C). La force  $F_{elec}$  qui s'exerce entre deux charges  $q_1$  et  $q_2$  peut être déterminée par la loi de Coulomb

$$F_{elec} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

où  $r$  est la distance entre les charges et  $\epsilon$  une constante caractéristique du milieu, appelée constante diélectrique ou permittivité. D'après cette loi, la force électrostatique est proportionnelle au produit des charges et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

Toute charge électrique engendre un champ de force électrostatique. Dans un tel champ, déplacer une charge électrique d'un point à un autre nécessite de l'énergie, appelée différence de potentiel. Cette différence de potentiel s'exprime en volts. Par définition, la Terre, qui peut être assimilée à une charge électrique sphérique, est choisie comme potentiel de référence : on décide de lui attribuer un potentiel nul. Dans ce cadre, le potentiel d'un corps chargé positivement est positif, tandis que celui d'un corps chargé négativement est négatif. Il existe de nombreuses machines électrostatiques comme l'électroscope, qui permet de mesurer la valeur d'une charge électrique, ou encore l'accélérateur de Van de Graaff, utilisé pour accélérer des particules.

## 5 ÉLECTRODYNAMIQUE

L'électrocinétique est l'étude des courants électriques. Lorsque deux charges électriques égales et opposées sont reliées par un conducteur métallique (ensemble appelé dipôle électrique), les électrons se déplacent de la charge négative (pôle -) vers la charge positive (pôle +), de manière à établir un équilibre neutre entre les deux charges. Ce flux d'électrons génère un courant électrique, dont le sens est par convention opposé à celui de la migration des électrons. Dans tout circuit électrique, les électrons s'écoulent du point de plus bas potentiel vers le point de potentiel supérieur.

Un courant électrique est continu (symbole CC) s'il circule toujours dans le même sens ; s'il circule périodiquement dans les deux sens, il est alternatif (symbole AC). Le courant alternatif est préféré au courant continu comme source d'énergie électrique, tant pour les usages domestiques qu'industriels.

### 5.1 Unités de mesure

Considérons un circuit électrique traversé par un courant. L'intensité du courant en un point du circuit correspond à la quantité d'électricité qui traverse ce point durant 1 s. Elle se mesure en ampères (symbole A). Un ampère correspond au passage d'environ  $6,25 \cdot 10^{18}$  électrons par seconde. La tension entre deux points du circuit mesure la différence de potentiel existant entre ces deux points. Elle se mesure en volts (symbole V). Ces grandeurs électriques peuvent se mesurer à l'aide d'appareils adaptés comme l'ampèremètre et le voltmètre. Voir Unités de mesure ; Électriques, mesures.

### 5.2 Loi d'Ohm

Un dipôle électrique peut être décrit par trois paramètres caractéristiques : sa différence de potentiel ou tension, l'intensité du courant qui le traverse et sa résistance, qui se mesure en ohms (symbole  $\Omega$ ). Un ohm correspond à la résistance d'un circuit traversé par un courant de 1 A et soumis à une tension de 1 V. En 1826, le physicien allemand Georg Ohm établit la relation liant la tension  $U$ , l'intensité  $I$  et la résistance  $R$  d'un dipôle électrique, appelée aujourd'hui loi d'Ohm :  $U = R \cdot I$  (voir Circuits électriques).

### 5.3 Effet Joule

Lorsqu'un courant électrique circule dans un conducteur, on observe une augmentation de température de ce conducteur : cet effet est appelé effet

Joule. Il est dû à la collision des électrons avec les atomes du corps conducteur, qui libère ainsi de l'énergie sous forme de chaleur. La puissance  $P$  dissipée par effet Joule, qui s'exprime en watts (symbole  $W$ ), se calcule par la relation :  $P = R.I^2$ .

## 5.4 Lignes à haute tension

Dans un circuit électrique traversé par un courant d'intensité  $I$  et de tension  $U$ , la puissance utile  $P_u$  s'exprime par la relation  $P_u = U.I$ . Pour transporter le courant électrique sur de longues distances, on utilise des lignes à haute tension qui limitent les pertes excessives de la puissance utile. En effet, si par exemple 200 000 W sont fournis à un réseau électrique possédant une résistance de  $10 \Omega$ , le courant peut être transporté aussi bien sous une forte tension de 200 000 V avec une intensité de 1 A, que sous une faible tension de 2 000 V avec une intensité de 100 A (puisque la puissance utile est le produit de la tension par l'intensité du courant). Conformément à l'expression de la puissance dissipée par effet Joule ( $P = R.I^2$ ), la perte de puissance sous 200 000 V n'est que de 10 W, alors que sous 2 000 V, la perte de puissance atteint 100 000 W, soit la moitié de la puissance totale fournie. Cet exemple montre bien qu'il est beaucoup plus rentable d'acheminer le courant électrique sous haute tension. Pour ce faire, on emploie en pratique des transformateurs qui augmentent la tension (*voir* Électricité, production et distribution de l').

## 6 SOURCES D'ÉLECTRICITÉ

Tout circuit électrique est alimenté par une source de courant qui peut être une force électromotrice ou une différence de potentiel. Les sources de courant sont variées : les machines électrostatiques produisant des charges par des moyens mécaniques comme le générateur de Van der Graaff, les appareils électromécaniques où le courant est créé par des conducteurs se déplaçant dans des champs magnétiques, les piles voltaïques générant une force électromotrice par action électrochimique, les photopiles produisant une force électromotrice par action directe de la lumière (*voir* Solaire, énergie) ou encore les cristaux piézo-électriques qui fournissent un potentiel électrique par pression mécanique.

## Historique de Électrostatique

**Gilbert, William** (v. 1540-1603), physicien et médecin anglais, connu principalement pour ses expérimentations originales sur la nature de l'électricité et du magnétisme. Né à Colchester, dans le comté d'Essex, il fit ses études au <http://www.electrotechnique-fr.com>

collège St. John (université de Cambridge) et commença à pratiquer la médecine à Londres en 1573. En 1601, il fut nommé médecin de la reine Élisabeth.

Gilbert découvrit que de nombreuses matières, après avoir été frottées, avaient la propriété d'attirer des objets légers. Il qualifia la force exercée par ces matières par le mot électrique et fut le premier à utiliser les termes force électrique, attraction électrique et pôle magnétique. La plus importante contribution de Gilbert fut la démonstration expérimentale de la nature magnétique de la Terre. L'unité de force magnétomotrice du système cgs, (voir Unités de mesure), le gilbert, reçut son nom. Il fut aussi le premier représentant en Angleterre du système copernicien de la mécanique céleste. Il supposa que les étoiles fixes n'étaient pas toutes à la même distance de la Terre. Son traité sur le magnétisme, *De magnete* (1600), fut sans doute la première grande œuvre scientifique à avoir été écrite en Angleterre.

**Guericke, Otto von** (1602-1686), physicien allemand, inventeur d'une machine pneumatique. Il étudia le droit aux universités de Leipzig et de Jena, et les mathématiques à l'Université de Leiden. Après avoir eu connaissance des expérimentations du scientifique français Blaise Pascal, et des scientifiques italiens Galilée et Evangelista Torricelli sur la pression atmosphérique, il étudia les propriétés de l'air et la création du vide. Au cours de ses expériences, il inventa la première pompe à air en 1650. En 1654, il effectua devant la Diète impériale à Regensburg la célèbre démonstration des hémisphères de Magdebourg. Deux hémisphères en bronze creuses furent assemblées et, à l'aide d'une pompe, l'air fut retiré de la sphère ainsi créée. Deux attelages de huit chevaux ne purent séparer les deux hémisphères. Lorsque l'on laissa pénétrer l'air dans la sphère, les hémisphères se séparèrent immédiatement. On utilise encore des hémisphères similaires dans les études de la pression atmosphérique. *Voir aussi* Vide, technologie du.

Von Guericke mena également des recherches en biologie. En 1672, il mit au point la première machine produisant une charge électrique. En astronomie, il étudia le retour périodique des comètes.

**Franklin, Benjamin** (1706-1790), savant et homme politique américain, qui joua un rôle déterminant dans la naissance des États-Unis.

Né à Boston, il était le dixième fils et le quinzième enfant d'une famille modeste. Ouvrier imprimeur, il fit son instruction après le travail à l'atelier. Autodidacte, influencé par Joseph Addison et son journal le *Spectator*, il se mit à écrire dans le *New England Courant*, journal lancé par son frère James Franklin en 1721. Ses articles ayant attiré l'attention du gouverneur de Pennsylvanie, il fut envoyé à

Londres où il écrivit *De la liberté et de la nécessité du plaisir et de la peine* en 1724. Revenu en Amérique, Franklin racheta la *Gazette de Pennsylvanie* en 1729, fonda une imprimerie à Philadelphie en 1730 et se mit à publier, sous le pseudonyme de Richard Saunders, l'*Almanach du pauvre Richard* (*Poor Richard's Almanack*), pour répandre l'instruction dans le peuple (1732). Affilié à une loge maçonnique, Franklin multiplia les initiatives humanistes, fondant une société de discussion libre, la « Junte », créant la première bibliothèque publique des colonies et la *Société philosophique américaine* (1743).

Curieux de toutes choses, il se passionna également pour la science. En 1744, il inventa la « cheminée à la Franklin », un calorifère. Étudiant les phénomènes électriques, il découvrit le rôle des isolants et démontra que la foudre était de l'électricité, à l'aide d'un cerf-volant, en 1752. Franklin fut également l'inventeur du paratonnerre.

Élu à l'Assemblée de Pennsylvanie en 1747, Franklin y fit adopter de nombreuses mesures pour le bien public, telles que la fondation de collèges et d'hôpitaux, la création d'une milice et d'un corps de sapeurs-pompiers. En 1753, il fut nommé Maître général des postes de l'Amérique britannique. L'année suivante, délégué au Congrès d'Albany, il proposa une union des colonies, projet qui fut alors rejeté. Choisi pour défendre les intérêts de la Pennsylvanie à Londres en 1757, il réussit à faire révoquer l'Acte du timbre (*Stamp Act*), qui interdisait aux colonies de décider elles-mêmes de leurs impôts (1763). Lors de son séjour, il se lia d'amitié avec de nombreux savants et philosophes, parmi lesquels le chimiste Joseph Priestley, le philosophe David Hume et l'économiste Adam Smith..

Bien qu'initialement favorable au roi d'Angleterre George III, il s'en sépara lorsque des taxes sur le thé et le sucre furent imposées à l'économie américaine et dès lors, il soutint le projet d'indépendance des colonies. Ses pamphlets de 1773, *Règles pour faire d'un grand État un petit* et *Édit du roi de Prusse*, eurent un énorme retentissement.

Quittant Londres en 1775, il fut accueilli triomphalement à Philadelphie et fut élu député de Pennsylvanie au Congrès continental. Après avoir aidé le général George Washington au cours de la guerre de l'Indépendance, il fut l'un des cinq rédacteurs de la *Déclaration d'indépendance* (1776).

Chargé de solliciter l'aide de la France, Franklin se rendit à Paris où il rencontra Louis XVI et Turgot, mais aussi Robespierre et Danton. Sa simplicité et sa bonhomie conquièrent les salons parisiens. Avec Mirabeau, il écrivit les *Considérations sur l'ordre des Cincinnati*. Soutenu par La Fayette, il conclut en 1778 un traité d'amitié entre la France et les États-Unis, puis obtint l'envoi

d'une armée, d'une flotte et d'une aide financière considérable. Franklin fut alors nommé par le Congrès ministre plénipotentiaire des États-Unis en France.

En 1781, sans consulter la France, il signa les préliminaires de paix avec l'Angleterre. Le traité de Paris de 1783, signé à Versailles, mit fin officiellement à la guerre.

Rentré en Amérique en 1785, Franklin fut nommé président du conseil exécutif de Pennsylvanie puis élu délégué à la Convention chargé de rédiger la Constitution des États-Unis (1787). L'année suivante, il se retira de la vie publique.

Diplomate habile, Franklin sut obtenir, au-delà d'un capital de sympathie, les moyens matériels dont son pays avait besoin pour exister. Humaniste actif, il donna à son action politique une orientation sociale qui se traduit par des réalisations de valeur. Scientifique inventif, il apporta également à l'humanité plusieurs découvertes utiles.

**Priestley, Joseph** (1733-1804), chimiste et théologien anglais, qui a isolé de nombreux gaz, tels que l'oxygène. Il est considéré comme l'un des fondateurs de la chimie moderne par ses contributions à l'expérimentation.

Priestley fut encouragé à publier son *Histoire de l'électricité* par le scientifique et homme d'État Benjamin Franklin, qu'il avait rencontré en 1766. Priestley découvrit entre autres que le charbon de bois conduit l'électricité. En 1767, il se rendit compte que l'électrisation des conducteurs reste superficielle. La même année, il devint pasteur à Leeds, dans le Yorkshire, où il commença à s'intéresser à la recherche dans le domaine des gaz. Grâce à son travail expérimental novateur, il fut élu à l'Académie des sciences en 1772, année où il publia ses *Observations sur différentes espèces d'air*. Au moyen d'une cuve à mercure, Priestley isola des gaz, comme l'ammoniac, l'oxyde d'azote, le dioxyde de soufre et le monoxyde de carbone (« air fixe »). En 1774, Priestley produisit pour la première fois de l'oxygène et comprit également son rôle dans la combustion, ainsi que dans la respiration des végétaux (1775), (*voir* Photosynthèse). Cependant, en tant que partisan de la théorie du phlogistique, il nomma ce nouveau gaz l'*air déphlogistiqué* et ne se rendit pas compte de l'importance de sa découverte. En collaboration avec Henry Cavendish, il démontra que l'eau est un corps composé. Au cours de sa carrière, Priestley resta opposé aux théories révolutionnaires du chimiste français Antoine de Lavoisier, qui donna à l'oxygène son nom.

En 1780, Priestley devint pasteur à Birmingham. Il s'était rallié à la pensée unitaire et fut considéré comme un radical religieux. Son livre intitulé *Histoire des corruptions du christianisme* (1782) fut officiellement brûlé en 1785. En raison de son soutien ouvert à la Révolution française, sa maison et ses biens furent brûlés en 1791. Il émigra aux États-Unis en 1794, où il continua à écrire le restant de sa vie. Ses ouvrages rassemblés après sa mort, intitulés *œuvres théologiques et diverses* (1817-1832) et *Mémoires et correspondance* (1831-1832), couvrent une grande variété de sujets dans les domaines de la science, de la politique et de la religion.

**Coulomb, Charles Augustin de** (1736-1806), physicien français connu pour ses recherches en électrostatique et magnétisme.

Né d'une famille noble à Angoulême, Charles Augustin de Coulomb a d'abord le désir de devenir mathématicien. Admis à l'école du génie de Mézière, il mène alors une carrière d'ingénieur militaire, participant à la construction du fort Bourbon aux Antilles. Revenu en France en 1772, il est élu en 1781 à l'Académie des sciences pour sa théorie des frottements. Il devient ensuite intendant des Eaux et Fontaines en 1784. À la Révolution, il abandonne ses diverses activités administratives, mais est nommé, peu avant sa mort, inspecteur général de l'Instruction publique en 1802.

Les premiers travaux de Coulomb concernent l'étude des contraintes mécaniques et des frottements. Il entreprend également des expériences sur l'élasticité et la torsion des fils. En 1777, il invente la balance de torsion, qui permet de mesurer la force de répulsion des charges électriques de même signe. En 1785, cette balance lui permet d'énoncer plus généralement la loi d'attraction et de répulsion électriques, aujourd'hui connue sous le nom de loi de Coulomb (voir Électricité). En 1789, il introduit la notion de moment magnétique, fondamentale en magnétisme. Son nom reste attaché à l'unité mesurant la quantité de charge électrique, le **coulomb**.

## Historique de Électrocinétique

**Galvani, Luigi** (1737-1798), médecin et physicien italien, célèbre pour ses études sur l'activité électrique des nerfs et des muscles des animaux. Son nom est aujourd'hui associé à l'électricité : on le retrouve dans les mots galvanisme, galvanisation ou encore galvanomètre.

Né à Bologne, Luigi Galvani, après avoir envisagé une carrière religieuse, y suit des études de médecine et présente une thèse sur la nature et la croissance des os. Il est ensuite nommé professeur d'anatomie à l'université de Bologne.

Ses recherches portent sur l'anatomie comparée des oiseaux, en particulier sur leur système rénal et leurs organes auditifs. En 1786, son laboratoire est le théâtre d'une découverte aussi fortuite que fondamentale : le contact d'un scalpel avec une grenouille écorchée qui se trouve, par hasard, à proximité d'une de ses machines électriques, provoque la contraction des muscles de l'animal. Galvani se lance alors dans une série d'expériences sur l'excitabilité des muscles et la stimulation électrique des contractions musculaires et, en 1791, élabore sa théorie selon laquelle les nerfs et les muscles sont le siège d'une « électricité animale » et sont parcourus de courants contraires. Ses travaux sur la conduction électrique permettront à son compatriote Alessandro Volta (1745-1827), qui réfute le concept d'électricité animale, d'inventer la pile électrique.

En 1798, Galvani refuse de prêter serment à la nouvelle République cisalpine et ne peut conserver sa chaire. Il meurt quelques mois plus tard.

**Volta, Alessandro**, comte (1745-1827), physicien italien, inventeur de la pile électrique. En 1774, il devint professeur de physique à l'école royale de Come, sa ville natale. L'année suivante, il conçut l'électrophore, un instrument produisant des charges d'électricité statique. En 1776, il se tourna vers la chimie, réalisant des expériences telles que l'allumage d'un gaz par une étincelle électrique dans un récipient fermé, l'eudiomètre. En 1779, il reçut la chaire de physique de l'université de Pavie, qu'il occupa pendant les vingt-cinq années qui suivirent. Après avoir étudié l'électricité atmosphérique, il inventa, en 1800, la pile dite voltaïque, premier appareil produisant un courant d'électricité continu (voir Batterie (électricité)). Napoléon Ier le fit comte en 1801, en hommage à son travail dans le domaine de l'électricité. C'est en son honneur que le nom de volt fut donné à une unité électrique. Voir aussi Électricité.

**volt**, unité SI de différence de potentiel, ou tension électrique, et de symbole V. Un volt correspond à la différence de potentiel entre deux points d'un fil conducteur traversé par un courant de 1 A, lorsque la puissance dissipée est de 1 W (voir Électricité).

**Ohm, Georg Simon** (1789-1854), physicien allemand, connu principalement pour ses recherches sur le courant électrique et pour la loi qui porte son nom. Né à Erlangen, il fut le directeur de l'institut polytechnique de Nuremberg de 1833 à

1849 et professeur de physique expérimentale à l'université de Munich de 1852 à sa mort. La loi d'Ohm indique le rapport de proportionnalité existant entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit électrique. Ainsi, Ohm définit précisément la notion de résistivité et de résistance (voir Résistance électrique). En son honneur, l'unité de résistance électrique porte son nom.

**Kirchhoff, Gustav Robert** (1824-1887), physicien allemand, dont l'œuvre, très vaste, aborde des domaines de la physique très différents. Né à Königsberg (aujourd'hui Kaliningrad, Russie), il fait ses études à l'université de Königsberg et devient professeur de physique à l'université de Breslau, Heidelberg et Berlin. Avec le chimiste allemand Robert Wilhelm Bunsen, Kirchhoff développe le spectroscope moderne pour l'analyse chimique. Au début des années 1860, les deux scientifiques découvrent les éléments du césium et du rubidium en utilisant la spectroscopie. Par ailleurs, Kirchhoff mène d'importantes investigations sur le transfert de chaleur par radiation et postule également deux lois fondamentales, connues aujourd'hui sous le nom des lois de Kirchhoff, relatives à la distribution du courant dans les circuits électriques.

**Wheatstone, sir Charles** (1802-1875), physicien et inventeur britannique, surtout célèbre pour ses travaux en électricité.

Il travailla comme apprenti chez son oncle, en 1816, un fabricant d'instruments de musique de Londres. En 1823, il hérita de l'affaire et, en 1829, inventa le concertina (voir Accordéon).

Scientifique autodidacte, il fut nommé professeur à l'université de Londres en 1834 et, en 1837, il fit breveter, avec l'ingénieur en électricité sir William Fothergill Cooke, le premier télégraphe électrique britannique. L'instrument électrique appelé pont de Wheatstone, bien qu'inventé par Samuel Hunter Christie, porte son nom car il a été le premier à l'utiliser pour mesurer la résistance électrique dans les circuits électriques (voir Électriques, mesures).

Wheatstone inventa également (1838) le stéréoscope. Il fut anobli en 1868.

**Joule, James Prescott** (1818-1889), physicien britannique, né à Salford, dans le Lancashire. Il fut l'un des plus grands physiciens de son époque ; Joule est

célèbre pour ses travaux de recherche en électricité et en thermodynamique. Au cours de ses recherches sur la chaleur émise dans un circuit électrique, il formula la loi, connue sous le nom de loi de Joule, sur la chaleur électrique, qui indique que la quantité de chaleur produite chaque seconde dans un conducteur par le passage du courant électrique est proportionnelle à la résistance électrique du conducteur et au carré du courant électrique. Joule a vérifié expérimentalement la loi de la conservation de l'énergie dans son étude sur la transformation de l'énergie mécanique en énergie thermique.

Utilisant plusieurs méthodes indépendantes, Joule détermina la relation numérique existant entre l'énergie thermique et l'énergie mécanique, soit l'équivalent mécanique de la chaleur. L'unité d'énergie porte son nom ; elle est égale à un watt.seconde. Avec le physicien William Thomson, Joule découvrit que la température d'un gaz décroît lorsqu'il se dilate sans opération particulière. Ce phénomène, connu sous le nom d'effet Joule-Thomson, est à la base du fonctionnement des systèmes courants de réfrigération et de climatisation.

Joule reçut de nombreuses distinctions honorifiques des universités et des sociétés scientifiques à travers le monde. Ses Articles scientifiques en deux volumes furent publiés en 1885 et en 1887.

## Historique de Électromagnétisme

**Ørsted, Hans Christian** (1777-1851), physicien et chimiste danois, inventeur de l'électromagnétisme (voir Magnétisme). Après des études à l'université de Copenhague, il y fut nommé professeur de physique en 1806. En 1819, il découvrit qu'une aiguille aimantée est déviée à angle droit vers un courant électrique, débutant ainsi l'étude de l'électromagnétisme. Il fut également le premier à isoler (1825) l'aluminium sous forme pulvérulente. Son Manuel de physique mécanique fut publié en 1844.

**Ampère, André-Marie** (1775-1836), physicien et chimiste français, fondateur de l'électromagnétisme.

Né à Polémieux-au-Mont-d'Or, près de Lyon, fils d'un juge de paix lyonnais guillotiné sous la Révolution, André-Marie Ampère mène une brillante carrière scientifique : titulaire de la chaire de mécanique à l'École polytechnique en 1809, il est élu à l'Académie des sciences en 1814, puis à la chaire de physique du Collège de France en 1824.

En 1820, Ampère assiste à une reconstitution de la célèbre expérience d'Ørsted (1819), où une aiguille aimantée se trouve déviée au voisinage d'un courant électrique. Observant que le courant électrique crée des effets similaires à ceux d'un aimant (voir magnétisme), celui que Maxwell appelait le « Newton de l'électricité » jette alors les bases d'une discipline nouvelle, l'électromagnétisme, et en donne les premières formulations mathématiques. Il montre également que deux courants peuvent agir l'un sur l'autre, fondant ainsi l'électrodynamique. Ampère invente les termes de courant et de tension électriques. Tous ces résultats sont publiés dans son ouvrage *Sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* (1827).

Mathématicien, physicien, Ampère est aussi chimiste : il est l'un des premiers à distinguer les atomes des molécules. Indépendamment d'Avogadro, il formule en 1814 la loi, dite parfois loi d'Avogadro-Ampère, selon laquelle tous les gaz, à volume égal et à pression égale, renferment le même nombre de molécules. Ampère est aussi l'inventeur de nombreux dispositifs expérimentaux et d'appareils de mesure : la boussole astatique, dont le principe est à la base du galvanomètre (voir Électriques, mesures), le solénoïde, le télégraphe électrique et, avec Arago, l'électroaimant. À la fin de sa vie, il s'intéresse à la philosophie des sciences. Mort pratiquement dans l'oubli, Ampère a laissé son nom à l'unité de courant électrique, l'ampère.

**Faraday, Michael** (1791-1867), physicien et chimiste britannique, surtout connu pour ses découvertes de l'induction électromagnétique et des lois de l'électrolyse.

Né à Newington (Surrey), Faraday, dont le père est forgeron, ne reçoit qu'une formation très élémentaire. Tout en étant l'apprenti d'un relieur à Londres, il lit des livres sur des sujets scientifiques et fait des expérimentations avec l'électricité. En 1812, il suit une série de conférences données par le chimiste Humphry Davy. Il envoie les notes prises lors de ces conférences à Davy, avec une demande d'emploi. Davy embauche Faraday comme assistant dans son laboratoire de chimie à l'Institution royale. En 1813, il l'emmène avec lui pour un long voyage dans toute l'Europe. Faraday est élu à la Royal Society en 1824 et l'année suivante est nommé directeur du laboratoire de l'Institution royale. En 1833, il succède à Davy comme professeur de chimie à l'Institution. Deux ans plus tard, on lui donne une pension à vie d'un montant de 300 £ par an. Faraday reçoit de nombreuses distinctions honorifiques scientifiques, dont la Médaille royale et la médaille Rumford de la Royal Society. On lui propose aussi la présidence de la Society mais il en refuse l'honneur.

C'est dans le domaine de la chimie que Faraday fait ses toutes premières recherches, en suivant la direction de Davy. Une étude du chlore aboutit à la découverte de deux nouveaux chlorures de carbone. Il découvre aussi le benzène et réalise des analyses approfondies sur de nombreuses variétés de verre optique. Dans une série d'expériences, il réussit à liquéfier de nombreux gaz courants (voir Cryogénie).

Les recherches menées par Faraday concernent surtout les domaines de l'électricité et du magnétisme. En 1821, à la suite de la découverte par Ørsted de l'existence d'un champ magnétique autour d'un conducteur traversé par un courant électrique et des travaux d'Ampère, il constate qu'un aimant agit sur un conducteur parcouru par un courant. Il utilise ce phénomène pour faire tourner un circuit en présence d'un aimant, donnant ainsi le principe du moteur électrique. En 1831, il découvre l'induction électromagnétique qui permet de transformer le travail (énergie mécanique) en courant (énergie électrique), phénomène à la base du développement de la dynamo. Il étudie également les phénomènes d'électrolyse (voir Électrochimie) et en découvre les deux lois fondamentales. Il met en évidence entre autres la relation existant entre la quantité d'électricité passant à travers l'électrolyte et la masse du produit décomposé. Il étudie ensuite les phénomènes électrostatiques, vérifie expérimentalement la conservation de l'électricité, développe une théorie de l'électrisation par influence, et démontre avec la cage de Faraday que les actions électrostatiques ne se font pas sentir à l'intérieur d'un conducteur creux. En 1846, il montre que l'énergie électrostatique est stockée dans les diélectriques. Il établit également le principe selon lequel des substances diélectriques différentes ont des capacités inductives spécifiques différentes.

Lors de ses expériences sur le magnétisme, Faraday met en évidence le diamagnétisme et la capacité qu'a un champ magnétique de faire tourner le plan de polarisation de la lumière passant à travers certains types de verre.

**Maxwell, James Clerk** (1831-1879), physicien écossais, grand théoricien et habile expérimentateur, connu essentiellement pour avoir établi les équations de l'électromagnétisme, contribution qui fait de lui l'un des hommes scientifiques les plus importants du XIXe siècle.

Un grand nombre des travaux de Maxwell portent également sur le domaine de la thermodynamique où celui-ci a développé la théorie cinétique des gaz et a été l'un des premiers à énoncer le principe ergodique. Enfin, Maxwell a conduit aussi des recherches en astronomie et sur la vision des couleurs.

## BIOGRAPHIE

Né à Édimbourg, Maxwell descend d'une famille de nobles écossais. Il fait ses études à Édimbourg, puis à Cambridge (Trinity College) où il étudie sous la direction des meilleurs professeurs de l'époque. Il occupe ensuite des chaires de professeur de physique, d'abord à Aberdeen (1856-1860), puis à Londres (1860-1865). Il se marie en 1858 avec Katherine Mary Dewar, union dont il n'aura pas d'enfants. En 1865, Maxwell abandonne la vie académique et se retire durant six ans sur ses terres écossaises, à la fois pour en assurer la mise en valeur et pour rédiger son fameux traité d'électromagnétisme. De retour à l'Université en 1871, il est nommé professeur de physique expérimentale à Cambridge, où il conçoit et développe le Cavendish Laboratory.

## LES ÉQUATIONS DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Équations de Maxwell En 1873, le physicien britannique James Clerk Maxwell regroupa les caractéristiques des champs électrique et magnétique sous la forme de quatre équations, qui constituent encore aujourd'hui la base de l'électromagnétisme. © Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Maxwell s'inspire des travaux de Michael Faraday sur les champs électromagnétiques. À l'aide d'un formalisme mathématique abstrait et très puissant, il établit la relation mathématique qui décrit les propriétés physiques communes aux champs électrique et magnétique. Son œuvre principale : le Traité d'électricité et de magnétisme (Treatise on Electricity and Magnetism, 1873) fait apparaître pour la première fois les quatre équations différentielles qui décrivent l'évolution mutuellement dépendante des champs électrique et magnétique dans l'espace et dans le temps (on les appelle depuis les équations de Maxwell). Cette approche de l'électromagnétisme est très nouvelle, car elle oppose à l'idée d'une force s'exerçant à distance (comme la force de gravitation de Newton) entre deux points discrets, celle d'une interaction due à la propagation d'ondes dans un espace continu. Maxwell déduit de cette nouvelle théorie que la lumière correspond à un cas particulier de la propagation d'ondes électromagnétiques (1864). Cependant, la théorie de Maxwell ne tranche pas encore entre deux points de vue opposés sur la nature de ce que représente le « champ électromagnétique » dans l'espace : propagation d'ondes de forces dans le vide ou modification d'un éther continu.

Les travaux de Maxwell ont ouvert la voie aux recherches d'Heinrich Rudolf Hertz, qui réalisa les expériences confirmant ses théories électromagnétiques. Mais au-delà de ce prolongement immédiat, l'œuvre de Maxwell, en électrodynamique et en thermodynamique, a été reprise par les physiciens

théoriciens allemands, et a conduit (au début du XXe siècle) aux révolutions quantique et relativiste.

## LA « DISTRIBUTION DE MAXWELL-BOLTZMANN »

Vitesse des molécules d'un gaz Dans un gaz à une température donnée, les molécules, animées par le mouvement d'agitation thermique, sont dotées d'une énergie cinétique proportionnelle à la température du gaz : plus la température est élevée, plus la vitesse moyenne des particules est élevée. Le graphique montre deux distributions maxwelliennes de la vitesse des molécules d'un gaz à une température de 80 K et de 800 K. La valeur  $v_{max}$  correspond à la vitesse atteinte par le plus grand nombre de particules ; comme on l'observe sur le graphe, l'augmentation de la température entraîne l'augmentation de  $v_{max}$ . © Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Une autre contribution majeure de Maxwell, en thermodynamique cette fois, concerne l'étude cinétique des gaz. À partir des travaux de Rudolf Clausius, il propose une description statistique de la distribution de vitesses des particules d'un gaz : il introduit ainsi la « distribution de Maxwell-Boltzmann », et ouvre la voie au développement de la physique statistique. Parmi les ouvrages écrits par Maxwell méritent d'être cités : Théorie de la chaleur (Theory of Heat, 1877) et Matière et mouvement (Matter and Motion, 1876).

## LE PÈRE DE LA PHOTO EN COULEURS

Enfin, une des premières contributions dans la carrière de Maxwell concerne la vision des couleurs. Reprenant les idées du physicien britannique Thomas Young et du physicien allemand Hermann Helmholtz, il réalise un certain nombre d'expériences. Il peint sur des disques des secteurs en rouge, vert et bleu puis fait tourner ces disques pour montrer comment le mélange de ces couleurs primaires engendre d'autres couleurs. Il confirme ainsi l'hypothèse de Young selon laquelle l'œil comprend trois types de récepteurs sensibles chacun à une couleur primaire et montre que la « cécité aux couleurs » est due à des défauts de ces récepteurs. Il montre aussi de façon entièrement explicite que l'addition ou la soustraction de couleurs primaires reproduit toutes les autres couleurs. À partir de ces travaux, il réalise, en 1861, la première photo en couleurs, ancêtre des techniques utilisées en photographie, impression et télévision en couleurs.

Le nom de Maxwell a été donné à l'unité de flux magnétique dans le système CGS.

**Hertz, Heinrich Rudolf** (1857-1894), physicien allemand. Il fit ses études à l'Université de Berlin. De 1885 à 1889, à l'origine de la télégraphie sans fil (voir Télégraphe), il fut professeur de physique à l'école technique de Karlsruhe, et, à partir de 1889, enseigna la physique à l'Université de Bonn. Hertz clarifia et étendit la théorie électromagnétique de la lumière proposée par le physicien anglais James Maxwell, en 1884. Il prouva que l'électricité pouvait être transmise par des ondes électromagnétiques qui se déplacent à la vitesse de la lumière et possèdent de nombreuses autres propriétés de la lumière. Ses expérimentations avec ces ondes aboutirent au développement du télégraphe sans fil et de la radio. L'unité de fréquence, une période par seconde, fut dénommée le hertz.(Hz).

**Marconi, Guglielmo** (1874-1937), physicien italien, lauréat du prix Nobel et inventeur du premier système efficace de communication par télégraphie sans fil, ou radio. Il fit ses études à l'université de Bologne, sa ville natale. Il s'intéressa à la télégraphie sans fil à partir de 1890, et, dès 1895, utilisant l'oscillateur de Hertz, le cohéreur de Branly et l'antenne de Popov, il construisit un émetteur capable de transmettre un signal radio à quelques kilomètres de distance. Après avoir breveté son système en Grande-Bretagne, il fonda à Londres (1897) une compagnie privée pour exploiter son invention. En 1899, il réussit la première communication transmanche (46 km), suivie, deux ans plus tard, par la première liaison transatlantique (3 400 km) entre la Cornouailles et Terre-Neuve. Son système fut rapidement adopté par les marines britannique et italienne. À partir de 1907, les applications civiles, puis militaires, se succédèrent. Marconi reçut de nombreuses distinctions honorifiques et partagea en 1909 le prix Nobel de physique avec le physicien allemand Karl Ferdinand Braun. Pendant la Première Guerre mondiale, il fut chargé du service italien de télégraphie sans fil, et développa un système de transmission à ondes courtes pour les communications secrètes. Enfin, il étendit ses recherches au domaine des ondes courtes et des micro-ondes.

## Premières applications

**Tesla, Nikola** (1856-1943), ingénieur américain d'origine croate, considéré comme l'un des principaux pionniers dans le domaine de l'énergie électrique (voir électricité). Tesla fit ses études à l'École polytechnique de Graz, en Autriche, et à l'université de Prague. Après avoir travaillé trois ans comme ingénieur en électricité, il émigra vers les États-Unis (1884), où il fut plus tard naturalisé américain. Pendant une brève période, il fut employé dans l'usine de Thomas Edison, mais il démissionna pour se consacrer exclusivement à la recherche expérimentale.

En 1888, Tesla conçut le premier système opérationnel de génération et de transmission de courant alternatif pour les réseaux d'électricité. Les droits de cette invention, qui marqua son époque, furent achetés par l'inventeur américain George Westinghouse, qui fit la première démonstration du système lors de l'exposition mondiale tenue à Chicago, en 1893. Deux ans plus tard, les moteurs à courant alternatif de Tesla furent installés dans la centrale hydroélectrique des chutes du Niagara.

Parmi les nombreuses inventions de Tesla, on peut citer les générateurs à haute fréquence (1890) et la bobine qui porte son nom (1891), transformateur qui a eu des applications importantes dans le domaine des communications radio. L'unité appelée tesla, de symbole T, est l'unité S.I. de l'intensité d'un champ magnétique.

**Millikan, Robert Andrews** (1868-1953), physicien américain, lauréat du prix Nobel, connu principalement pour ses travaux de physique nucléaire. Millikan est né à Morrison, dans l'Illinois, et fit ses études à l'université Columbia et aux universités de Berlin et de Göttingen. Il entra à l'université de Chicago en 1896, et en 1910, il y fut nommé professeur de physique. En 1921, il quitta l'université pour prendre ses fonctions de directeur du laboratoire de physique Norman Bridge à l'Institut de technologie de Californie. Il reçut, en 1923, le prix Nobel de physique pour avoir réussi à mesurer la charge d'un électron et démontré que les variations de cette charge étaient toujours des multiples de la charge élémentaire. Parmi ses autres réalisations, on peut citer d'importants travaux de recherche sur les rayons cosmiques et sur les rayons X, ainsi que la détermination expérimentale de la constante de Planck. Il écrivit des ouvrages techniques d'étude et plusieurs livres sur les liens entre la science et la religion.