

in Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIX^e siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 693-694.

Lois de conservation

La physique du dix-neuvième siècle voit le développement de la connaissance des lois de conservation et la découverte progressive de leur caractère fondamental pour la physique mathématique et théorique. Elle commence également à s'apercevoir du lien étroit qui existe entre les lois de conservation et les principes de symétrie.

Les premiers exemples déjà connus de lois de conservation, qui remontent aux deux siècles précédents, concernaient des grandeurs appartenant à la mécanique (quantité de mouvement, moment angulaire, énergie).

Lagrange avait montré que la somme de l'énergie cinétique (T) et de l'énergie potentielle (V) est constante pour les systèmes conservatifs. Dans sa Mécanique analytique, les équations du mouvement sont obtenues à partir du principe des variations appliqué à la grandeur $T + V$, ce qui mettait en évidence le caractère central de leur conservation du point de vue théorique. Cet état de chose fut pleinement pris en compte dans la formulation mathématique que Hamilton et Jacobi donnèrent de la mécanique rationnelle, basée sur le principe variationnel de moindre action, où les lois de conservation sont contenues dans la forme de la théorie. L'action acquit désormais ainsi le statut d'une grandeur physique fondamentale et conservative. Elle devint ensuite caractéristique, par-delà la seule mécanique, de la physique mathématique et théorique dans son ensemble, qui comprend aussi bien l'optique, l'électromagnétisme et la thermodynamique.

Le caractère conservatif d'autres grandeurs, comme la masse ou la quantité d'électricité, apparut également fondamental au cours du siècle. Le principe de la conservation de la masse, qui avait été énoncé par Lavoisier à la fin du dix-huitième siècle, servit de guide aux travaux des chimistes qui énoncèrent les lois de proportions définies et simples entre les volumes des constituants des gaz (Dalton, 1803; Gay-Lussac, 1802-1805; Avogadro, 1811-1814, etc.), lois qui allaient étayer la théorie atomique.

Quant à la conservation de la quantité d'électricité (Coulomb), elle permit de formuler les lois de l'électrostatique et de l'électrodynamique (Ampère, Faraday), sur lesquelles Maxwell fonda sa théorie électromagnétique.

La découverte de l'équivalent mécanique de la chaleur permit d'étendre la conservation de l'énergie au-delà du seul mouvement. Les expériences de Rumford sur l'échauffement produit dans le forage des canons, effectuées en 1798, suscitèrent, de la part de Rumford lui-même, de Davy et d'Ampère, l'interprétation de la chaleur comme mouvement. Dans ses expériences réalisées de 1840 à 1849, Joule mesura l'équivalent calorifique de l'énergie mécanique dissipée dans la rotation d'un dispositif à ailettes dans l'eau d'un calorimètre, ou dans le frottement de deux disques métalliques, donnant la valeur exacte de l'équivalent

mécanique ($1 \text{ J} = 423,4 \text{ g}$, avec une petite erreur, inférieure à 1%). Ces expériences furent reprises en 1880 par Rowland, aboutissant à une détermination plus précise encore.

Il était dès lors possible d'énoncer la loi de la conservation de l'énergie dans toute sa généralité, et non pas seulement pour l'énergie mécanique: cela se fit entre 1830 et 1850. Sadi Carnot fut le premier à la formuler, à la suite de ses réflexions sur les machines thermiques, mais sa découverte demeura cachée dans ses papiers inédits, qui ne furent publiés qu'en 1870, longtemps après sa mort. Hermann von Helmholtz et Robert Mayer en donnèrent l'expression en toute généralité. L'essai de Helmholtz est intitulé "Sur la conservation de la force" ("Kraft"), mais c'est bien de l'énergie qu'il s'agit : le terme, d'usage récent (on le trouve en 1807, chez Thomas Young, appelant pour la première fois énergie cinétique la force vive) n'était pas encore unanimement adopté. Von Helmholtz élevait la loi au rang de principe, dont il soulignait le caractère purement physique - non métaphysique - et indiquait que le changement d'énergie entre un état initial et un état final est indépendant de la manière dont la transition s'effectue.

Le principe de la conservation de l'énergie, ou premier principe de la thermodynamique, équivaut à l'affirmation de l'impossibilité d'un mouvement perpétuel de première espèce (tel qu'un moteur qui n'emprunterait rien à l'extérieur). Quant au deuxième principe, ou principe de Carnot (qui stipule l'augmentation de l'entropie pour les systèmes thermodynamiques), il équivaut à l'affirmation de l'impossibilité d'un mouvement perpétuel de deuxième espèce, tel que celui d'une machine périodique transformant de la chaleur en travail. Une telle transformation s'accompagne toujours d'un transport d'une source chaude à une source froide, deux sources de chaleur étant donc nécessaires. Sadi Carnot le démontra pour les machines réversibles, dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1822). Ce résultat fut généralisé et formalisé ultérieurement par Rudolf Clausius et par William Thomson (Lord Kelvin).

La loi de la conservation de l'énergie telle qu'elle intervient en thermodynamique est une loi macroscopique, à la différence de celles de la conservation de la quantité de mouvement et du moment angulaire. Sa validité pour les systèmes microscopiques, bien qu'admise en général, fut discutée à propos du mouvement brownien (par Gouy) ou des constituants organiques des tissus vivants (par Helmholtz), ainsi que des phénomènes radioactifs qui apparurent à la fin du siècle.

Le lien de certaines propriétés physiques et des lois de conservation à des propriétés de symétrie apparut peu à peu en évidence au cours du siècle. La notion de symétrie intéressait les cristallographes qui dénombrèrent les 230 groupes de symétries des cristaux. André Marie Ampère fit passer la symétrie au rang de méthode heuristique, en déterminant les propriétés des éléments de courant à partir de la considération des symétries macroscopiques dans les circuits électriques. Louis Pasteur ramena les polarisations différentes de la lumière par les cristaux d'acide tartrique à deux états moléculaires distincts de celui-ci. Pierre Curie établit, en 1894, les symétries respectives des champs électrique et magnétique (vecteur et pseudo-vecteur), et énonça son principe selon lequel les symétries des causes se retrouvent dans les effets.

En mathématiques, dans la suite des travaux d'Evariste Galois (en 1830) sur les solutions des équations algébriques, la théorie des groupes de

symétrie fut développée à partir des années 1870 par Sophus Lie, Felix Klein, Camille Jordan, pour les équations différentielles et les transformations infinitésimales. Cette théorie devait fournir ultérieurement l'outil formel par lequel la physique tirerait toutes les implications fondamentales des lois de conservation, qui sont l'expression de principes de symétrie, ce que Henri Poincaré fut l'un des premiers à apercevoir.

Bibliographie

ELKANA, Yehuda. *The discovery of the conservation of energy*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1974.

GOLDSTINE, Herman H. (1980). *A history of the calculus of variations from the 17th through the 19th century*, Springer-verlag, New York, 1980.

GRUEBER, B. and Millman, R. [1980]. *Symmetries in science*, New York and London, 1980.

HIEBERT, E. N. *Historical roots of the principle of conservation of energy*, Univ. of Wisconsin Press, Madison, 1962.

MERZ, John Theodore. *A history of European thought in the nineteenth century*, 4 vols., W. Blackwood and Sons, London, 1904-1916. Repr., Dover, New York, 1965; PeterSmith, Gloucester (Mass.), 1976.

Michel PATY