

616. E. B.: Ludwig Boltzmann (1844-1906), *L'Autriche Presente*, 2/1981, 17-20.

Ludwig Boltzmann

[1844-1906]

par Engelbert Broda

Le 5 septembre 1906, disparaissait à Duino, près de Trieste, l'un des plus grands penseurs de tous les temps. Ludwig Boltzmann est reconnu dans le monde entier comme l'un des fondateurs de la physique classique. On sait moins qu'il fut également passionné de biologie et philosophe de grande valeur. C'est l'ensemble de ses activités qui ont été étudiées au cours du séminaire international organisé cet automne à l'université de Vienne, à l'occasion du soixante-quinzième anniversaire de sa mort.

La terminologie internationale couramment utilisée reflète bien l'influence considérable exercée par Boltzmann dans le domaine de la physique: la loi de distribution de Maxwell-Boltzmann, le facteur de Boltzmann, la statistique de Boltzmann, la loi de la radiation de Stefan-Boltzmann. C'est Albert Einstein, qui sous l'influence de Boltzmann, donna le nom de « principe de Boltzmann », à ce qu'il considérait comme la contribution majeure de ce dernier. Le hongrois Cornelius Lanczos, l'un des collaborateurs les plus remarquables d'Einstein alors qu'il enseignait à Berlin, l'avait nommé « le successeur naturel » de Boltzmann. Un autre grand physicien dont les travaux trouvaient leur source chez Boltzmann, fut Max Planck. Sa théorie des quanta qui devait transformer fondamentalement la physique, reposait sur les idées et les équations de Boltzmann. On peut d'autant plus s'en étonner que, pendant de longues années, Planck avait été adversaire de Boltzmann. Après sa conversion aux points de vue de Boltzmann, Planck ne se lassa pas de chanter les louanges de ce dernier, donnant ainsi un bel exemple de générosité humaine.

L'homme

La vie de Ludwig Boltzmann s'écoula sans événement notable. Né en 1844 à Vienne où son père était fonctionnaire impérial du trésor, sa scolarité se déroula pour la plus grande part en Haute Autriche. A Linz, il eut, à titre privé, Anton Bruckner comme professeur de musique. Toute sa vie, il témoigna un profond intérêt pour la musique. Jamais il ne cessa de pratiquer la musique de chambre.

Il revint à Vienne pour suivre l'enseignement remarquable donné à l'université par Joseph Stefan qui fut l'un des tout premiers à défendre la physique atomique, ainsi que les idées originales, profondément révolutionnaires, de Maxwell sur le champ électromagnétique et la lumière. Grâce à ses dons remarquables, Stefan, fils de paysans illettrés de Carinthie dont la langue maternelle était le slovène, avait réussi à accéder à une chaire de l'université de Vienne, ainsi qu'à la vice-présidence de l'académie impériale des sciences. Sa valeur est reconnue, non seulement en Autriche, mais aussi en Yougoslavie. Stefan donna son appui aux recherches sur l'atomistique, bien qu'à son époque, beaucoup de physiciens célèbres n'admettaient pas l'idée de l'atome.

Le génie de Boltzmann fut reconnu très tôt, et après avoir enseigné quelque temps les mathématiques à Graz et à Vienne, il fut nommé à la chaire de physique expérimentale à Graz, où il resta quatorze ans. Il fut un expérimentateur remarquablement doué. Il se distingua par ses travaux dans les domaines de l'électricité et de l'optique. Cependant sa faveur allait avant

tout à la théorie. Il semble qu'il faille lui attribuer la paternité de l'affirmation suivant laquelle rien n'est plus pratique qu'une bonne théorie.

C'est à Graz également que Boltzmann se maria et fonda une famille qui devait prospérer. Il acheta une maison de campagne bien située sur une colline d'où s'offrait une vue magnifique sur les environs de la capitale de la province de Styrie. Sa réputation était désormais si bien établie que de jeunes chercheurs, promis à un bel avenir, venaient de pays lointains pour participer à ses travaux. Parmi eux se trouvaient de futurs prix Nobel, tels que l'allemand Walther Nernst et le suédois Svante Arrhenius. Dans l'ambiance hospitalière du foyer de Boltzmann, quelques-unes des idées les plus importantes en physique prenaient forme au cours de discussions amicales qu'interrompaient des promenades à travers la flore luxuriante des collines tout à l'entour. La table était, par ailleurs, abondamment garnie.

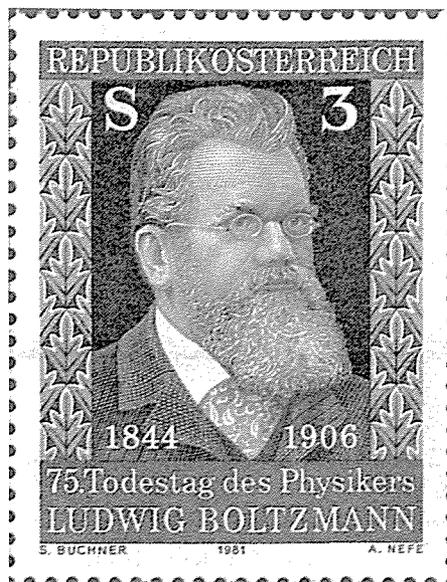
Au cours d'un dîner auquel assistaient plusieurs collègues, parmi lesquels le tout puissant Helmholtz – surnommé le « chancelier impérial de la physique allemande » – fut déclinée une invitation des plus prestigieuses, celle de succéder, en 1888, à Kirchhoff à l'université de Berlin: Boltzmann était arrivé à la conclusion que l'esprit prussien ne lui convenait absolument pas. Cependant, en 1890, il répondit à l'appel de Munich où, pour la première fois, il put obtenir une chaire de physique théorique. A la mort de Stefan, Boltzmann retourna en 1894, à Vienne où, à l'exception de deux années passées à Leipzig, il devait rester jusqu'à la fin de sa carrière.

Wilhelm Ostwald, l'un des fondateurs de la chimie physique, l'y avait appelé. Mais bien qu'Ostwald entretenait avec Boltzmann d'excellentes relations personnelles, il était adversaire de l'atomistique. C'est l'une des raisons qui fit obstacle à leur collaboration.

Au cours de ses dernières années passées à Vienne, Boltzmann enseigna non seulement la physique théorique, mais aussi la philosophie de la nature. Dans ce domaine, il succédait à Ernst Mach, venu de Prague à Vienne, en 1895, comme professeur de philosophie. Victime d'apoplexie, celui-ci avait dû cesser son enseignement en 1901. Le fait que Boltzmann succédait à Mach était d'autant plus surprenant que, malgré l'estime qu'ils se portaient réciproquement, les deux hommes étaient, sur le terrain de la physique et de la philosophie, d'irréductibles adversaires. En physique, Mach était, avec Ostwald, le chef de file des anti-atomistes en Europe centrale. En philosophie, il était le fondateur de la doctrine néo-positiviste à laquelle Boltzmann s'opposait farouchement. Les conférences de Boltzmann sur la philosophie de la nature étaient considérées comme de grands événements; elles étaient suivies par ces centaines d'auditeurs dont beaucoup n'appartenaient pas à l'université.

Boltzmann était un conférencier d'une parfaite clarté, et, en même temps, plein de chaleur, qui suscitait chez ses auditeurs amour et admiration. Il préparait avec très grand soin ses exposés, qu'il s'agisse du domaine des expériences ou des théories. Boltzmann aimait les digressions, les anecdotes et les plaisanteries. Son sens de l'humour séduisait à coup sûr. Ainsi, alors qu'un professeur allemand avait écrit, non sans pédantisme, dans un manuel de mécanique, que, parmi les corps déformables, il en est un qui peut consciemment se déformer lui-même, à savoir l'homme, Boltzmann écrivit en marge: «Le porc peut lui aussi changer consciemment de forme, mais seul l'homme est capable d'écrire de telles bêtises.»

Dans ses conférences comme dans ses écrits, Boltzmann aimait faire référence aux grands compositeurs et aux poètes. Dans la préface à ses «Ecrits populaires» (1905), il



Timbre édité à l'occasion du 75^e anniversaire de la mort de Ludwig Boltzmann

rend un hommage vibrant à Shakespeare et à Goethe. Mais il ajoute que, sans Schiller, il aurait pu exister quelqu'un ayant le même nez ou la même barbe, mais dont la personnalité eût été bien différente. Boltzmann subit l'influence, non seulement du sens poétique, mais aussi de la puissance morale de Schiller. Parmi les musiciens, son admiration allait à Mozart et à Schubert, mais par-dessus tout à Beethoven. On peut remarquer que pour Einstein, l'ordre de priorité était différent: Mozart, Schubert, Beethoven; il ne s'accommodait pas très bien des puissantes émotions que provoque la musique beethovénienne.

Boltzmann était également sensible aux beautés de la nature. Il n'hésitait pas à avouer que le spectacle des couleurs de l'océan l'avait fait éclater en sanglots. Comment, demandait-il, la vue d'une couleur peut-elle vous faire pleurer? Ce n'était donc pas seulement pour leur utilité pratique que Boltzmann s'enthousiasmait pour les magnifiques réussites de la technologie; il parlait avec enthousiasme de la tour Eiffel, du pont de Brooklyn et des travaux des grands «électriciens». Il considérait sûrement les œuvres des ingénieurs comme de merveilleuses réalisations de l'esprit humain, lui-même le produit suprême de la Nature.

Le savant

C'est Boltzmann qui, plus que quiconque, fit triompher l'atomisme après que celui-ci eût été rejeté pendant des millénaires par des penseurs éminents, au nombre desquels on compte Platon, et que ses défenseurs aient même été persécutés. Ainsi, en France, en 1624, l'enseignement de l'atomistique était devenu un crime punissable de la peine de mort. Sans doute, le besoin d'une interprétation cohérente des phénomènes observés dans la conversion réciproque de la chaleur et du travail au 19^{ème} siècle contribua-t-il aux progrès de l'atomistique. A un moment où l'usage des moteurs thermiques se répandait, où les besoins en chaleur et en énergie s'accroissaient considérablement et où l'industrie chimique connaissait un développement rapide, il devenait indispensable de bien comprendre ces phénomènes.

La thermodynamique, science de l'interaction réciproque de l'énergie et du travail, avait permis de formuler deux lois: la première, connue sous le nom de la loi de la conservation de l'énergie, la seconde, la loi de l'accroissement d'entropie (principe de Carnot). L'entropie était un concept et un terme créés par Rudolf Clausius en 1865. Grâce à l'accroissement d'entropie dans tout processus naturel, l'irréversibilité évidente, mais néanmoins troublante, des événements peut être décrite sous une forme très utile. Par exemple, si l'on mélange de l'eau froide et de l'eau chaude dans une baignoire – un processus dont l'observation est relativement facile –, l'entropie s'accroît. Cependant l'eau tiède ne se sépare pas, d'elle-même, en eau chaude et froide. D'autres expériences montrent que des règles semblables s'appliquent au mélange de différentes substances. Le café et le lait se mélangent, mais le café au lait ne peut revenir à ses composants initiaux.

Des physiciens de grande stature, tels que Mach, et Planck dans ses jeunes années, souhaitaient limiter la thermodynamique à la description sans équivoque et à la formulation mathématique des phénomènes observés sur des objets visibles de grande dimension: conservation de l'énergie et accroissement de l'en-

tropie. C'était là ce qu'on appelait l'approche phénoménologique. Nulle autre explication ne leur semblait nécessaire. D'autres, comme Clausius, Maxwell, Stefan et Boltzmann, souhaitaient fonder l'explication de la thermodynamique sur l'existence des atomes. A ce stade de développement de la science, personne ne pouvait « voir » les atomes. Donc l'explication atomistique demeurait hypothétique; des erreurs ne pouvaient être exclues. D'autre part, on pouvait espérer conduire de nouvelles investigations et améliorer la prédiction du résultat des expériences. Le contenu des informations fournies par l'atomisme était plus riche que celui de la phénoménologie, mais l'information, au moins au début, manquait de sûreté!

La contribution la plus importante de Boltzmann fut l'explication de la mystérieuse seconde loi: la loi de l'accroissement de l'entropie. Après avoir progressé pas à pas durant des années de travail intensif et d'utilisation d'une quantité énorme de mathématiques, il arriva, en 1877, à formuler cette équation (Principe de Boltzmann) aux multiples répercussions, qui, plus tard, devait être réécrite par Planck sous la forme:

$$S = k \cdot \log W.$$

C'est ce que l'excellent physicien Fritz Hasenöhr, qui fut à Vienne l'un des étudiants et le successeur de Boltzmann, a appelé l'une des plus belles équations de toute la physique. Reprenant une citation du Faust de Goethe, que Boltzmann avait lui-même utilisée pour les équations de Maxwell en électromagnétisme, l'un des physiciens présents à l'inauguration du monument de Boltzmann au cimetière central de Vienne posait cette question: « Est-ce un dieu qui a écrit ces signes? » Le beau monument que visitent des pèlerins du monde entier est l'œuvre du sculpteur Gustinus Ambrosi.

Que veulent dire ces signes? Mis à part « k » qui est une constante (« la constante de Boltzmann », selon Planck), l'équation indique qu'une grandeur « S » croît en proportion avec une autre grandeur « logarithme de W », et, en conséquence, avec W lui-même. S n'est rien d'autre que l'entropie de Clau-

sius, et W (« Wahrscheinlichkeit – probabilité ») est la probabilité d'une disposition particulière, au sens large, des atomes. Ainsi, on affirme que l'accroissement d'entropie est le reflet de la tendance spontanée, mais inexorable, vers des combinaisons plus probables des atomes présents. La nécessité se trouve réduite à la statistique. Ainsi les physiciens montrent-ils sans difficulté que le désordre des atomes du café au lait est beaucoup plus probable que la séparation bien ordonnée entre lait et café.

Certains considèrent comme une hérésie la réduction à la probabilité d'une loi naturelle fondamentale. Ils objectèrent que selon cette idée, de temps à autre, des événements improbables peuvent aussi se produire. Boltzmann mourut trop tôt pour avoir pu connaître de tels événements, les « fluctuations ». Cependant, peu de temps après la mort de ce dernier, Jean Perrin démontra à Paris, que le « mouvement brownien », le mouvement irrégulier et désordonné de particules minuscules en suspension dans l'eau, observables au microscope, n'est rien d'autre qu'un cas particulier de « fluctuations ». Les équations mises à l'épreuve par Perrin avaient été fournies par Einstein, ainsi que, indépendamment, par un étudiant de Boltzmann, le polonais Marian von Smoluchowski.

La prédilection de Boltzmann pour la statistique l'avait amené aussi à réserver un accueil enthousiaste à la théorie de Darwin. La survie des plus aptes est un phénomène statistique. Darwin ouvrait la voie à une interprétation rationnelle du développement et de l'évolution en biologie, c'est-à-dire à l'inclusion de la biologie dans la science moderne. Boltzmann donna à son siècle le nom de « siècle de Darwin ». Avec passion, avec violence même, il argumentait contre les « obscurantistes » qui avaient pris position contre Darwin. C'est de la théorie de Darwin qu'il attendait le « salut » de la philosophie. Pour Boltzmann, les produits de l'esprit, les lois de la pensée, tout comme le sens de la moralité et de la beauté, prennent leur source dans le rôle positif qu'ils jouent dans l'évolution des ancêtres de l'humanité et dans l'humanité elle-même. Evoquant le sacrifice de centaines de bœufs of-

fert aux dieux par Pythagore, Boltzmann comparait les ennemis de Darwin aux bœufs saisis de frayeur en face des vérités nouvelles.

Boltzmann appliqua également les idées de Darwin à l'origine de la vie. Anticipant les concepts couramment admis de nos jours, il suggéra que dans les eaux à l'origine de la terre des « complexes » apparurent provoqués par des modifications dues au hasard et à la lutte pour la survie. Il s'agissait de ce que, de nos jours, nous appelons l'évolution chimique. Par la suite, il expliqua que la photosynthèse s'était développée parmi les plantes pour répondre à la nécessité de trouver des sources d'énergie utilisables.

Le philosophe

Mach n'était pas seulement opposé aux atomes, il rejetait aussi toute notion d'un monde extérieur indépendant. Selon lui, c'était là de la métaphysique. La science devait trouver ses limites dans l'économie ordonnée des sensations, des éléments de l'expérience. Mach était conscient de la similarité de ses points de vue avec ceux que professait, au 18^{ème} siècle, l'évêque Berkeley. Dans ses conférences sur les sciences de la nature, Boltzmann ne combattait pas seulement l'idéalisme subjectif de Mach, souvent appelé, de nos jours, positivisme; il s'attaquait aussi aux différentes écoles d'idéalisme objectif, tout particulièrement, à Hegel et à Schopenhauer. Il qualifiait ce dernier de « philosophard creux, ignorant, qui, par son verbiage sans substance, anéantit fondamentalement et pour toujours les cerveaux ». C'étaient les termes mêmes que Schopenhauer avait utilisés dans sa polémique contre Hegel. Boltzmann prenait position en faveur du réalisme; dans sa conférence contre Schopenhauer, il allait jusqu'à qualifier de « matérialistes » ses propres points de vue. La concordance était son argument essentiel, c'est-à-dire le fait que les expériences de chacun de nos sens à différents moments, ainsi que les résultats obtenus grâce à l'utilisation des instruments physiques les plus divers, ne cessent de nous confronter à un monde extérieur dont les propriétés sont cohérentes.

Recherche et innovation

Un vaste cercle d'étudiants, d'admirateurs et d'amis entourait Boltzmann. Ils étaient attirés par sa bonté, sa serviabilité et son humour. Ses travaux en physique lui valaient l'admiration du monde entier; nombre d'académies le comptaient parmi leurs membres. Et pourtant, il n'était pas heureux. Son état de santé empirait. Il se plaignait de «neurasthénie». En outre, il redoutait que, au moins pour un temps, l'atomistique subît une éclipse. Les points de vue qu'il soutenait en biologie et en philosophie, n'allaient pas sans rencontrer d'opposition. Même en politique, ses idées n'étaient pas partagées par tous. Bien qu'il ne jouât aucun rôle dans

la vie publique, il s'affirmait démocrate et républicain. Dans sa jeunesse, polémiste redoutable, il prenait plaisir aux combats qu'il lui fallait livrer. Mais il semble que l'action combinée d'une opposition toujours croissante et de sa mauvaise santé était plus qu'il ne pût supporter.

De nos jours, la communauté scientifique internationale accorde à Boltzmann toujours plus d'importance. Le nombre des travaux consacrés à l'analyse de son œuvre s'accroît sans cesse. Le livre de René Dugas, publié, à Paris, sous le titre «La théorie de physique au sens de Boltzmann», en est une preuve éclatante. «La mécanique statisti-

que», les travaux de Maxwell, de Boltzmann et de l'américain J. W. Gibbs, constituent un domaine scientifique où règne une activité des plus intenses. La théorie de l'information elle-même prend sa source dans la statistique de Boltzmann. Boltzmann fut à l'origine des théories quantiques d'Einstein et de Planck.

Dans son pays, on sait que Ludwig Boltzmann ne fut pas seulement un expert de premier ordre dans le domaine de la physique, mais bien un génie exceptionnel. Nombre d'institutions et de prix portent son nom. Une édition savante de ses œuvres complètes est en cours de publication. ●