

# BOLTZMANN ET LA MÉCANIQUE CLASSIQUE

ANTONIO A. P. VIDEIRA

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro/CNPq*

---

**Abstract.** The purpose of the article is to present the ideas that the Austrian physicist Ludwig Boltzmann (1844-1906) developed on the role of classical mechanics in physics. He had elaborated them at a time when classical mechanics began to be considered as not being any more the ground for all other physical theories. Boltzmann never accepted this conclusion. He rejected it, developing at the same time some ideas on the epistemological nature of scientific theories. According to him, scientific theories are representations of natural phenomena.

**Keywords:** Boltzmann, classical mechanics, deductive method, Hertz, Kirchhoff.

---

## 1. Introduction

Pour l'historien suisse de la mécanique, R. Dugas, le fait marquant de la période située entre la moitié du dix-neuvième siècle et le début du siècle dernier (plus précisément, jusqu'à la formulation de la relativité restreinte par A. Einstein en 1905), constitue la discussion autour des principes newtoniens qui étaient à la base de la mécanique classique (Dugas 1959). Ce débat eut lieu en plusieurs pays d'Europe, et une importance particulière en Allemagne et en Autriche en fonction de la vivacité des propos dont il fut imprégné dans ces deux pays : « Il en est plus remarquable et innatendu que, dans le moment actuel, principalement en Allemagne, que des discussions très intenses sur les principes fondamentales de la mécanique analytique ont surgit. » (Boltzmann 1905, p. 253–4 ; la traduction pour le français est mienne.) Il a été conduit sur deux plans distincts, mais entre lesquels, il y avait des points de contact. Le premier plan fut déterminé par la physique. Le deuxième par des principes épistémologiques.

Après l'émergence de théories tels que la thermodynamique, l'électromagnétisme et la mécanique statistique, qui ne se sont pas laissées recevoir facilement une base « fournie » par la mécanique classique, les efforts au niveau du plan physique seront axés dans le sens d'une réformulation de cette dernière. On essaiera ainsi de donner à la mécanique classique un fondement physique différent de celui établi par Newton. A partir de là, on devait être capable d'établir une mécanique conceptuellement « nettoyée ». Cette nouvelle mécanique devrait empêcher l'émergence de certaines problèmes. La notion de force qui, même pour Newton, constituait une difficulté

majeure, sera réévaluée. La question suivante fut alors posée : la notion de force est-elle vraiment important pour l'élaboration des théories physiques ?

En réalité, les deux plans épistémologique et physique sont indissolublement liés puisque, comme on le verra dans la suite, pour pouvoir procéder à une nouvelle formulation physique de la mécanique, il fallait adopter, avant même que cette formulation puisse commencer, une position épistémologique préalable à propos de la science et, plus particulièrement, à propos de la place de la mécanique dans la physique. Un exemple d'une question située au niveau du plan épistémologique concerne le vrai rôle d'une théorie : serait-elle une explication des faits ? Ou serait-elle simplement une description (économique) de ces faits ? Bien que les réponses d'ordre physique et épistémologique vont différer en fonction de leurs auteurs, ces derniers seront d'accord sur le fait qu'une nouvelle formulation de la mécanique exige une discussion sur la nature épistémologique de la physique, et plus particulièrement de la mécanique. Plus que jamais, les rapports entre science et philosophie, qui ont certainement toujours existé, seront mis en lumière, et avec une intensité rarement trouvée dans l'histoire de la physique. En considérant aujourd'hui ce débat, largement caractérisé par la finesse des argumentations, on se rend compte qu'il a énormément aidé à préparer les grands changements subis par la physique au début du vingtième siècle.

Comme nous l'avons brièvement mentionné, l'origine de ce débat sur la mécanique classique,<sup>1</sup> se situe, dans ses grandes lignes, dans la difficulté de donner à la théorie électromagnétique et à la thermodynamique, une interprétation mécanique cohérente. Le programme, qui proposait la réduction du monde étudié par la physique à la matière en mouvement, et qui était pratiquement commun à tous les pionniers de la science au XVIIème siècle, va subir des modifications très importantes. Une première rupture avec ce programme surgit lorsque la théorie corpusculaire de la lumière ne réussit pas à rendre compte du phénomène de diffraction. Au cours du temps, d'autres échecs viendront et ce jusqu'à la fin du siècle dernier. Tout ceci contribua largement à la mise en question de la mécanique classique tant au niveau de la théorie physique qu'au niveau épistémologique.

Dans cet article,<sup>2</sup> nous nous proposons de présenter comment s'est déroulé le débat sur le plan épistémologique. Nous allons voir aussi comment Boltzmann, considéré à la fin du dix-neuvième siècle comme le dernier grand physicien de langue allemande à avoir eu une foi immense dans la mécanique, cherchera à sauver cette théorie et la vision du monde qu'elle sous-tend. Dans la pensée épistémologique de Boltzmann, ce débat a une importance capitale ; il y expose ses conceptions épistémologiques avec une clarté remarquable et les développe avec une profondeur difficilement égalée dans d'autres discussions sur les problèmes épistémologiques qui méritèrent son attention (Dugas 1959, p. 61). Le point central, là où Boltzmann concentrera ses efforts les plus significatifs, se situe autour de sa conviction que la

mécanique classique pouvait être considérée comme le fondement de toute la physique et que la vision mécaniste du monde pouvait étayer toute la science naturelle. Ce point-ci joue un rôle si important dans la pensée épistémologique du physicien, qu'il constitue pour nous même l'origine de son épistémologie.

## 2. La mécanique classique et la nature des théories scientifiques

En défendant la mécanique tel que l'avaient présentée Newton et les géomètres du dix-huitième siècle (la famille Bernoulli, Euler, Lagrange, d'Alembert, parmi d'autres), Boltzmann insistera, par exemple, sur le fait que toute théorie scientifique n'est qu'une représentation de la nature. C'est justement en mettant l'accent sur cette idée qu'il montrera que les critiques dirigées contre la mécanique provenaient d'une mauvaise compréhension de ce qui est une théorie. Boltzmann ne se contentera pas d'annoncer quel est, selon lui, le fondement épistémologique de la mécanique classique, il va même écrire un ouvrage pédagogique (*Vorlesungen über die Principe der Mechanik*, Leipzig : J. A. Barth, 1897), dans lequel il part de ce fondement, et essaye de montrer que ce dernier a des avantages pédagogiques. Par conséquent, la mécanique devenait la base sur laquelle on bâtissait toute la théorie physique. En même temps, elle conquérait le statut de programme de recherche digne et fiable.

Cette primauté de la mécanique tient, pour une large part au fait qu'elle fut la première théorie physique qui s'établit comme une discipline mathématisée et confirmée par l'expérience. Mais, pour Boltzmann, en plus de cette primauté historique, la mécanique avait une autre primauté compte tenue de sa structure interne. Sur cette primauté historique, Boltzmann et le physicien et philosophe des sciences Ernst Mach étaient d'accord, sur l'autre primauté, le désaccord sera complété.<sup>3</sup> L'unité logique que la mécanique classique avait donnée à la physique, impliquait qu'elle devait avoir un degré de cohérence interne élevé. Boltzmann attribuait à la mécanique cette cohérence, sans considérer pour autant que celle-ci était déjà et une fois pour toutes, complètement achevée. Il reconnaissait qu'elle affrontait des difficultés de nature épistémologique. Ceci ne devait pas cependant entraîner le mépris ou l'abandon de cette science, qui, pour Boltzmann, était «une science souverainement exemplaire». En réalité, les difficultés auxquelles devait faire face la mécanique émergèrent de la compréhension erronée de ce qui est la science, et même de ce qui est la connaissance.

Comme Boltzmann le réitéra en maintes occasions, la science s'est attardée à reconnaître qu'elle ne peut pas comprendre la nature en soi. Cette impossibilité, selon lui, a été explicitée par Maxwell, au moment où il travaillait sur une théorie des phénomènes électriques et magnétiques.

Cependant, à la fin du siècle dernier, les physiciens n'acceptaient pas cette im-

possibilité qui se manifestait aussi dans les discussions sur l'atomisme. En disant cela, nous voulons signaler que la défense boltzmanienne de la mécanique classique suivait les mêmes lignes directrices de sa défense de l'atomisme : Boltzmann va beaucoup insister sur le caractère de représentation de toute théorie scientifique.

La mécanique classique (ou analytique, tel que Boltzmann préféra l'appeler parce qu'il tenait compte des développements mathématiques apportés à cette théorie par Euler, Lagrange et Hamilton, parmi d'autres) était le noyau scientifique et historique de la physique. En plus, elle se constituait comme l'introduction la plus adéquate pour « insérer » les élèves dans l'édifice de la physique théorique.

L'admiration que Boltzmann avait pour la mécanique classique influença la tactique qu'il utilisa pour la présenter et la défendre, tel qu'est observé par Dugas :

Dès l'introduction de son livre *Vorlesungen über die Principe der Mechanik*, Boltzmann se défend de vouloir donner à la mécanique — comme l'entendait la critique de l'époque un vêtement tout nouveau. Au contraire, il se propose de résoudre les difficultés propre aux principes de la mécanique dans un exposé aussi fidèle que possible à la forme classique. (Boltzmann 1905, p. 253 ; la traduction est mienne.)

Son maintien des principes classiques a aussi une autre raison. Boltzmann considérait que, dans un domaine si travaillé que celui de la mécanique, c'était hors de question que l'on puisse le compléter ou même trouver une nouveauté essentielle. Depuis Newton, la mécanique n'avait reçu aucun principe ou loi susceptible de modifier son contenu physique. Il n'y avait pas eu des changements radicaux en ce qui concerne les lois physiques régissant la nature. Toutes les modifications et innovations avaient été d'ordre mathématique. Les formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique ne touchent pas à son contenu physique : les lois de Newton restaient. Les géomètres (Lagrange, Laplace, Poisson et Hamilton) du dix-huitième et du début du dix-neuvième siècles ont transformé la mécanique en une théorie plus cohérente et solide sous son aspect mathématique. Ils n'avaient pas modifiés ses fondements, ils les ont complétés. Néanmoins, pour Boltzmann, il était clair que plusieurs théorèmes mécaniques avaient besoin d'être précisés.

La mécanique analytique est une science qui a été travaillée, d'une façon précise et avec une complétude admirables, ce qui fait d'elle un exemple difficilement trouvé dans d'autres domaines de la science. Les travaux de Lagrange, Laplace, Poisson, Hamilton, parmi d'autres, ont contribué à compléter les fondements établis par Newton. Depuis leurs travaux, la mécanique devint un exemple (*Vorbild*) à être suivi par les autres sciences :

La mécanique analytique est une science, qui, déjà par son fondateur Newton, fut travaillée, d'une façon telle, comme on peut rarement trouver dans tout le domaine de la connaissance humaine. Les plus grands maîtres, qui

ont suivi à Newton, ont renforcé plus encore le bâtiment qu'il a construit, il a paru inconcevable trouver une création de l'esprit humain plus parfaite et uniforme que les fondements de la mécanique comme nous pouvons les constater dans les ouvrages de Lagrange, Laplace, Poisson, Hamilton, etc. Spécialement l'établissement de premiers principes semble avoir été mené, par des chercheurs, avec une telle précision et une telle consistance logique qu'elle [la mécanique classique] a toujours fourni le paradigme pour les autres branches de la connaissance, même si ce ne pas toujours avec le même succès. Il semblait complètement impossible d'expandir ou de modifier ces fondements d'une façon quelconque. (Helmholtz 1984, p. 24 ; la traduction est mienne)

En ce qui concerne les présuppositions et les démonstrations, les lois du mouvement données par Newton, Boltzmann pensait qu'il fallait trouver une autre façon d'exprimer ces lois sans faire appel aux concepts d'espace et de temps absolus. Les difficultés qu'on rencontre quand on analyse les fondements de la mécanique, telle qu'ils avaient été établis par Newton, se trouvent partout, dès qu'on se décide à analyser les fondements de la connaissance ; cela veut dire que Boltzmann ne pensait pas que le travail d'analyse sur la mécanique classique pouvait impliquer que celle-ci posait des problèmes scientifiques. Selon lui, personne ne doutait de la portée scientifique de la mécanique classique ; ce qu'on cherchait à faire, était une analyse de ses principes épistémologiques.

Ainsi, Newton, selon Boltzmann, a eu besoin d'employer le concept d'espace absolu. Cette nécessité naît de la simplicité que Newton voulait pour sa loi de l'inertie. Même étant conscient du problème que ce concept, aussi bien que celui du temps absolu, lui posait, Newton ne pouvait s'en passer. De plus, cette utilisation newtonienne présentait, aux yeux de Boltzmann, un autre avantage : elle montrait que même Newton savait que, si on fait de la science, il faut employer des concepts qui vont nécessairement plus loin que l'expérience. Ces concepts restent, par principe, en dehors de l'expérience humaine ; celle-ci nous donne, par exemple, des informations sur les variations de la position relative des corps et non pas sur leur emplacement absolu. Par exemple, commentant les tentatives faites par Neumann, Streintz, Lange et Mach, Boltzmann affirme que celles-ci n'ont en rien modifié, au moins dans ce qui est vraiment significatif, la loi de l'inertie newtonienne. Bref, sur ce point, Boltzmann considérait que le physicien anglais avait raison.

Cet effort de Boltzmann tient au fait que, pour lui, la vision du monde sous-jacente à la mécanique classique était le fondement à la fois de la théorie physique et des autres sciences, par exemple, de la théorie de l'évolution de Darwin. Chez Boltzmann, ce qui est frappant, est qu'il restera jusqu'à sa mort un défenseur acharné de la vision mécaniste du monde. Il connaissait parfaitement bien les implications de son choix et se situait dans la direction contraire du mouvement qui prévalait à la

fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Selon Boltzmann lui-même, il se présentait devant ses collègues comme un réactionnaire, comme quelqu'un qui est passionné pour le classique.

Malgré que Boltzmann pensait que le noyau de la mécanique ne pouvait pas subir des changements, les phénoménologues croyaient y avoir apporté du nouveau. En vérité, dans la position des phénoménologues il y avait trois grandes orientations : la phénoménologie de base physico-mathématique conçue par Kirchhoff et reprise, avec des différences significatives, par Hertz, l'énergétique d'Ostwald et Helm et finalement, l'épistémologie phénoméniste de Mach, qui avait des traits communs avec les deux orientations précédentes. Entre les thèses de Mach et d'Ostwald, il y avait quelques différences mais, en général, elles s'accordaient. Mach sympathisait avec l'approche énergétique. En plus, les énergétistes rejetaient l'idée que la vision mécaniste du monde puisse impliquer un examen profond de la science naturelle.

En ce qui concerne les rapports entre Mach et Kirchhoff, on peut faire le commentaire suivant. Au milieu des années soixante, Mach présenta pour la première fois ses idées sur les développements de la statistique et de la dynamique ; elles ont été reçues très froidement. Néanmoins, elles vont faire partie des deux premiers chapitres de son livre sur la mécanique, publié en 1883. En 1871, Mach prononça une conférence, dans laquelle il exposa ses idées épistémologiques sur la science de la nature. On trouve là, la thèse la plus importante du mouvement phénoménologique : le but de la science de la nature est la description économique des faits ; les concepts physiques ne sont qu'un outil pour cette description. Il est intéressant de signaler qu'aucune maison d'édition n'a pas voulu publier cette conférence. Mach l'a publiée alors comme un travail spécial.

Quelques années plus tard, en 1874, Kirchhoff publia la première édition de sa mécanique. Il y présenta une variation de la thèse descriptionniste de Mach. Cette version kirchhoffienne du descriptivisme phénoménologique concevait le but de la mécanique comme étant de décrire, d'une façon complète et la plus simple possible, les mouvements naturels.

Dès la formulation de la théorie de la gravitation, le concept de force faisait problème : Newton l'y avait introduit et certains de ses adeptes croyaient qu'il devait exister vraiment dans la nature. Elle serait, non simplement un concept physique, mais aussi ontologique. Ce questionnement sur la vraie « nature » de la force va demeurer jusqu'à la moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, lorsque les physiciens, même les partisans d'une physique mécaniste la définirent comme un concept vide de contenu ontologique : il n'y avait pas dans la nature un équivalent de la force. Helmholtz reconnu que ce concept avait été à l'origine de discussions dépourvues de sens :

... elle [la force] a été plurivoquement mal comprise dans la façon qu'on a conçu ce substantif abstrait, la force, comme l'indication de l'existence essentielle d'une chose et qu'on a cru autorisé à concevoir quelques propositions sur les caractéristiques essentielles de la force, lesquelles en réalité, si cor-

rectes, ou bien étaient ou avaient un contenu réel apparent. (Hertz 1984, p. 81 ; la traduction est mienne.)

Dans ses discussions sur les principes de la mécanique, Boltzmann ne se limite pas à faire des arguments scientifiques ou épistémologiques. Il chercha aussi à comprendre leur développement historique, comme il avait fait avec l'atomisme en cherchant les racines de son utilisation en physique. Selon lui, les phénomènes compliqués du monde sensible avaient été traités sous un point de vue mathématique de deux manières. La première, considérait les corps terrestres comme constitués d'aggrégats de masses ponctuelles. La deuxième, essayait de partir des données fournies par l'expérience sensorielle. Pour les yeux des humains, les corps sensibles devraient être perçus comme continus.

La première conception, en disant que la matière était discontinue, avait « pénétré » l'essence des choses. La deuxième, en ne considérant que ce qui est donnée par l'expérience, se voulait libre de toutes les hypothèses qui ne pouvaient pas être prouvées. À l'époque de Boltzmann, ces deux façons restaient encore désunies ; la première conception a été émise par Navier, Poisson, Laplace, Cauchy et Wilhelm Weber, la deuxième par Euler et Fourier.

### **3. Kirchhoff et la phénoménologie physico-mathématique**

Le mouvement, soutenu par Euler et Fourier, reçut une forme plus définitive et qui s'accordait plus avec les idéaux de ces deux savants avec les travaux de F. Neumann et son élève G. Kirchhoff. Selon ces deux maîtres à penser de la phénoménologie allemande, le but de la science n'était ni de formuler des hypothèses audacieuses sur l'essence de la matière, ni de deviner la façon dont se meuvent les corps, ceci à partir des mouvements moléculaires. Cela devait être évité à tout prix : les physiciens n'ont aucune raison de s'occuper de l'essence de la force ou des corps matérielles. En physique, on doit alors formuler des équations ne contenant pas d'hypothèses. Ainsi, les équations de la mécanique, ne doivent pas dépasser le niveau des phénomènes et ne doivent pas chercher des choses qui ne sont pas démontrables. Ces équations doivent simplement correspondre aux mouvements observables. En consonance avec ce précepte épistémologique, Kirchhoff cherchera à « exclure » toutes les discussions où la force était la cause des mouvements. Si on ne cherche plus à savoir quelles sont les causes ultimes des mouvements, les descriptions peuvent gagner en simplicité. En plus, si elles s'accordent aux règles imposées par l'analyse mathématique, elles peuvent être formulées d'une manière tout à fait rigoureuse. En réalité, Kirchhoff voulait modifier le type de questionnement posé par les scientifiques : les tentatives de déchiffrer comment la nature est en soi (c'est-à-dire, savoir quelle est son essence) ne fait pas partie de la tâche des scientifiques. Ils ne doivent pas s'occuper de ce qui

se trouve au-delà de l'expérience, leur tâche ne sera pas d'expliquer, mais de décrire ce qui est observé.

Sur la nécessité d'éviter les discussions sur l'essence de la nature et sur les causes métaphysiques de mouvements, Boltzmann s'accordait avec ses contemporains. Il savait, néanmoins, que la seule description de ce qui est observable ne donne pas grand chose car ce ne serait qu'un classement des faits. Sachant alors que l'exigence était très forte et pouvait entraîner des conséquences désagréables pour la sciences, Boltzmann a réinterprété le dictame phénoménologique de la façon suivante. Puisqu'on ne peut pas nous empêcher d'aller au delà de l'expérience, on doit, après avoir introduit les abstractions, le plus tôt possible, les mettre en comparaison avec les faits.

Kirchhoff définissait le mouvement comme étant le changement de lieu par rapport au temps : ce qui se meut, c'est la matière. Pour la conception (*Auffassung*) du mouvement, les images d'espace, temps et matière sont, non seulement nécessaires, mais aussi suffisantes. Avec l'usage de ces images et des concepts auxiliaires comme celui de force et de masse, la mécanique atteint son but de travailler ou avec ce que lui est fourni directement par l'expérience, ou bien avec ce qui a un rapport direct avec celle-ci. Kirchhoff avait indiqué dans sa définition de la tâche de la mécanique que la description du mouvement doit être complète et simple. La première de ces exigences veut dire que toute question que l'on pose sur le mouvement ne peut pas rester sans réponse, de là son exigence d'une restriction du but de la mécanique. Mais, si la première exigence de Kirchhoff n'offre pas de difficultés pour sa compréhension, la deuxième n'a pas la même clarté et ceci fut reconnu par lui-même. Selon lui, on peut avoir des doutes sur quelle est la description la plus simple. ces doutes trouvent leur origine dans le fait qu'une description, aujourd'hui comprise comme la plus simple, dans l'avenir, elle peut ne pas l'être. Selon Kirchhoff, l'histoire de la mécanique est pleine d'exemples de ce type de changement.

Malheureusement, dans son ouvrage sur les principes de la mécanique, il ne nous en donne aucun exemple. Pendant toute sa vie scientifique, Kirchhoff ne s'est pas prononcé sur les théories qui ne suivaient pas ses règles épistémologiques. Ainsi, il n'a jamais écrit un article scientifique sur la théorie des gaz. Néanmoins, en tant que professeur, Kirchhoff a donné, à plusieurs reprises, des cours pour ses élèves à Berlin sur la théorie cinétique des gaz.

Comme nous l'avons laissé voir précédemment, Kirchhoff n'acceptait pas l'identification établie entre force et cause du mouvement. Il pensait qu'en se débarrassant de cette identification, la mécanique pourrait enfin se libérer du « péril » métaphysique. Pour Boltzmann, la façon employée par Kirchhoff n'amenait pas aux résultats désirés. Cherchant à mieux comprendre le travail de Kirchhoff, Boltzmann le comparait souvent avec le travail de Hertz. A travers cette comparaison, il arriva à la conclusion que la réforme de l'ancien professeur à Berlin fut purement formelle.

Hertz, par contre, a introduit des modifications plus radicales comme, par exemple, son idée des masses occultes (ou cachées).

Selon Boltzmann, on peut arriver à la mécanique de Hertz en partant de la mécanique de Kirchhoff car il y a un rapport entre les deux dans la mesure où les deux savants ont défini la masse en fonction des liaisons. Kirchhoff a défini la masse seulement dans le cas, où il y avait des attaches arbitraires entre les points matérielles ; pour tous les autres cas, où les points matérielles se meuvent sans aucune liaison, le concept kirchhoffien de masse disparaît et la confusion qui s'y produit, est seulement résolue quand on exclue le cas du mouvement libre ; ce qui a fait Hertz. en postulant l'existence des masses cachées.

Les forces les plus importantes de la mécanique newtonienne étaient celles du type d'action à distance entre les points matérielles. Kirchhoff a éliminé la question de la raison métaphysique de cette action à distance. Mais, il continue à admettre qu'existent, dans la mécanique, des mouvements produits par les mêmes lois, qui seraient en vigueur si les forces à distance existaient vraiment.

#### **4. Les principes de la mécanique selon Hertz**

Contrairement à Kirchhoff, qui pour pouvoir traiter le problème d'un seul point matériel, s'est vu obligé à admettre de nouveau l'existence des forces à distance, Hertz exclut tout mouvement impliquant leur présence. Il a réussi dans sa tentative car il expliqua les forces à partir des conditions de liaisons au lieu d'expliquer celles-ci à travers les forces. Ainsi, la condition à laquelle la mécanique de Hertz était soumise, est beaucoup plus restrictive que celle de Kirchhoff. Selon Boltzmann, avec cette restriction, Hertz s'est donné les moyens de construire un système mécanique d'une simplicité surprenante. Toujours est-il que pour pouvoir déduire de sa théorie les phénomènes liés aux systèmes rigides, Hertz a eu besoin de supposer l'existence des masses cachées, dont l'interaction avec les masses visibles est nécessaire pour expliquer les lois du mouvement de ces dernières. Fasciné par la simplicité logique du système de Hertz, Boltzmann essaya de trouver à travers l'expérience ces masses cachées. Il échoua dans ses efforts et sans une preuve expérimentale de leur existence, la théorie mécanique hertzienne ne pouvait avoir qu'une valeur académique.

Ce qui attirait le plus Boltzmann chez Hertz, était le fait que celui-ci, dans sa mécanique, a mis en relief les idées épistémologiques de Maxwell. D'après la lecture des travaux de Maxwell, Hertz a compris qu'aucune théorie ne peut être identique à la nature ; au moins depuis l'émergence de la philosophie critique de Kant, les philosophes en avaient pris conscience. On ne doit pas confondre le caractère objectif d'une théorie physique avec une explication essentialiste. Toutes les explications des phénomènes naturels ne sont que des images ou des représentations. La théorie n'est qu'une image des phénomènes, de la même façon que le signe est lié au signifiant.

A l'instar de Kirchhoff et Bortzmann, Hertz cherchait à faire disparaître les questions dont la science ne pouvait pas répondre. Alors que Kirchhoff affirmait que la tâche de la physique était de présenter une description de la nature sous la forme des équations différentielles libre d'hypothèses, Hertz, et pour éviter ces questions « dépourvues de sens », éprouva la nécessité de discuter sur la représentation scientifique, en particulier sur ce qui est une théorie mécanique. Ceci devient claire, si on n'oublie pas que selon Hertz :

Tous les physiciens concordent sur le point que la tâche de la physique est de reconduire les phénomènes de la nature aux lois simples de la mécanique. (Hertz 1984, p. 78 ; la traduction est mienne.)

Comme Helmholtz, Boltzmann et Maxwell, Hertz pensait que la mécanique constituait le fondement de la physique, mais il savait aussi qu'il existait un profond désaccord sur qu'elles étaient ces lois simples, toujours selon lui, l'unanimité ici n'était plus assurée. C'est vrai que, à l'époque, la plupart des physiciens tenaient les lois newtoniennes comme étant les plus simples. Mais, même en gardant le respect qu'il avait pour la génialité de Newton, Hertz admettait que ces lois n'avaient pas ce caractère de certitude que les gens les concédaient. Le point faible de ce système se trouvait dans le concept de force. Les lois de Newton prenaient leur sens et leur vraie signification physique à travers la supposition que les forces et leurs propriétés étaient de nature simple. Et pourtant, malgré la simplicité et légitimité que avaient ces lois, personne ne pouvait les définir sans rentrer dans des considérations plus détaillées.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la mécanique de Hertz remplissait certaines exigences épistémologiques. En réalité, toute la réforme de la mécanique proposait par Hertz est le résultat d'un souci épistémologique. Etant arrivé à une certaine notion sur la théorie physique, Hertz va essayer de modifier le contenu physique et épistémologique de la mécanique. Tout au long de l'introduction de son livre sur les principes de la mécanique, devenu un ouvrage très dense en philosophie des sciences, Hertz expose les critères à partir desquels une théorie physique doit être analysée et jugée. La première partie de l'introduction est constituée par l'énumération de ces critères, à savoir : i) admissibilité (*Zullässigkeit*), suivant ce critère la représentation ne doit pas aller à l'encontre des lois de la pensée. Ainsi, une représentation respectant ces lois, sera considérée comme possible et pourra être employée légitimement ; ii) une représentation est correcte (*richtige*), lorsque les rapports existants entre les objets qui, dans la représentation, substituent les objets naturels et ces objets naturels ne sont pas en contradiction ; et iii) une représentation qui soit légitime et correcte peut aussi être du type non adéquate (*zweckmäßige*). Ce troisième critère est très important, car Hertz reconnaissant qu'il est toujours possible que plusieurs images distinctes soient correctes et légitimes (ou permises) mais pas

convenables : comment pourrait-on donc choisir parmi ces images ? C'est ici que le critère de la convenance joue son rôle dans la mesure qu'il rend possible déterminer la représentation capable de représenter le plus complètement possible les relations de l'objet concerné. Dans c'esta ca là, la représentation peut aussi être considérée comme la plus simple.

Nous avons présenté jusqu'ici les critères permettant de décider quelles sont les représentations dignes de ce nom. Mais ces critères, selon Hertz, ne suffisent pas à définir ce qui est une représentation scientifique. Pour lui, en plus de ces critères, une vraie représentation scientifique doit permettre de prévoir de nouveaux phénomènes. Les représentations sont définies de la façon suivante :

Nous nous formons des symboles des objets externes et la forme qui nous leurs donnons est telle que les conséquences nécessaires des images, dans la pensée, sont toujours des images des conséquences nécessaires, dans la nature, des choses présentées. (Boltzmann 1905, p. 309 ; la traduction est mienne.)

Ceci étant dit, il devient plus facile de comprendre pourquoi Boltzmann disait que Hertz avait complété les idées épistémologiques de Maxwell. Celui-ci estimait que les théories scientifiques ne peuvent pas déterminer ce qui est réellement la nature. On ne peut pas savoir ce qu'elle est en soi ; on peut seulement la représenter. Cela explique en partie qu'il y a toujours la possibilité de se créer plusieurs représentations différentes de la nature. C'est justement en disant que la représentation est une création humaine et qu'elle existe dans l'esprit des hommes, que Hertz complètera les idées épistémologiques maxwelliennes. Il explicitera ce que Maxwell voulait dire en affirmant que toute théorie n'est qu'une représentation.

Les représentations humaines sont alors différentes (c'est-à-dire, elles ont une nature différente) des objets du monde sensible. Ce point ne doit pas être oublié ; si on l'oublie, on peut penser que les représentations ont d'autres correspondances avec la nature qu'elles ont d'avantage. On ne peut parler de coïncidence entre une représentation et la nature que dans la mesure où une vraie représentation scientifique amène à prévoir de nouveaux phénomènes. La prévision signifie que le scientifique a été capable d'anticiper, au niveau de la représentation, un nouveau phénomène. La science, telle qu'elle a été établie depuis les Temps Modernes, l'exige. Une représentation scientifique, dont les conséquences nécessaires ne peuvent l'être aussi des choses, ne sert à rien. Mais, comment peut-on savoir que ce qui l'on retire comme conséquence d'une représentation ne s'oppose pas à une organisation future des choses représentées ? Pour accomplir cela, on doit avoir présent que cette concordance entre la nature et l'esprit se passe vraiment : c'est l'expérience qui le prouve. Comme pour échapper à l'éternelle migraine qui est la métaphysique, Hertz ne se pose pas la question de savoir pourquoi cette concordance (*Übereinstimmung*)

existe. Il se contente de la constater. En plus, cette concordance expérimentale entre nature et esprit humain, c'est la seule qui existe et qui peut être exigée. Pour le but de la science, elle suffit. S'il y a d'autres concordances, elles ne peuvent pas être connues parce qu'on n'a pas les moyens de les déterminer.

Hertz interprétait les théories scientifiques comme étant des systèmes symboliques ou simplement comme des modèles, à partir desquelles on déduit des résultats susceptibles d'être comparés à l'expérience. Si, dès le début du travail scientifique, on est conscient du fait que la représentation est une entité différente de celle qu'on cherche à représenter, on peut la modifier et l'améliorer. Ces modifications et améliorations se font en fonction des points faibles. Par exemple, tout ce qui concerne la convenance (*Zweckmäßigkeit*), est contenu dans la nomenclature, dans les définitions, en fait, dans tout ce qui étant artificiel, peut être changé et/ou rejeté. Pour qu'une représentation soit rendue correcte — ou même plus correcte — on doit s'attacher aux faits expérimentaux impliqués dans la construction de ces images. Finalement, la permissibilité d'une représentation est donnée par les caractéristiques de l'esprit humain.

En faisant attention à tout ce qui rend convenable (ou adéquate) une représentation, on pourra décider clairement, c'est-à-dire, par un oui ou un non, sur cette caractéristique. Toujours est-il qu'on n'a pas de critères uniques et suffisamment objectifs. On peut, par conséquent, avoir des opinions tout à fait différentes. Hertz fait ainsi savoir que la pluralité des théories pour les phénomènes de la nature est beaucoup plus qu'une possibilité. Il suffit de regarder l'histoire de la physique pour se rendre compte qu'elle est aussi une réalité. Pour le caractère de correction d'une représentation, on peut toujours en décider sans équivoques. Pour cela, on a besoin seulement de la comparer avec les données expérimentales dont on dispose, sans oublier pour autant que des expériences futures peuvent changer ce statut.

Il est clair que Hertz voulait réorganiser l'édifice de la mécanique classique. Mais, intéressant encore, est la façon dont il l'a conduit. Pour avoir une idée claire de la façon dont il s'y prend, il nous suffit de jeter encore un regard sur l'introduction de son livre sur la mécanique, où il discute, à partir d'un point de vue interne et épistémologique, les différentes manières qu'on a pour fonder la mécanique classique. Dans cette discussion, nous l'avons vu, le plus important sans doute, est son analyse sur les représentations scientifiques et, en se demandant à quoi elles servent et pourquoi toute théorie scientifique n'est qu'une image de la nature. Ceci dit, il nous semble facile de comprendre le vrai sens de la remarque de Hertz quand il affirme que, dans son ouvrage sur les principes de la mécanique il n'a pas introduit aucune nouveauté scientifique. Son objectif était plutôt fournir une nouvelle présentation des principes de la mécanique classique qui devrait suivre les réquis logiques — c'est-à-dire : épistémologiques — de la mécanique telle qu'il a conçue.

## 5. Boltzmann sur les idées de Hertz et Kirchoff sur la mécanique classique

En examinant les analyses de Boltzmann de la version hertzienne de la mécanique classique, nous sommes amenés à affirmer que l'objectif de Hertz, en ce qui concerne le plan épistémologique de sa théorie, a été presque complètement atteint. Si sa mécanique devait subir des transformations, quant à son contenu physique, ses principes épistémologiques, par contre, furent établis. En particulier, Boltzmann reconnaissait que Hertz avait été le premier à avoir dit clairement que les images mentales sont le fondement d'une approche axiomatique pour la mécanique. L'approche axiomatique, quand bien suivie, permettait une nouvelle formulation de la mécanique classique, en fonction de certains principes épistémologiques et qui aurait des répercussions.

Selon Boltzmann, une grande partie des problèmes qui affectaient la mécanique prenaient leur origine dans le fait que les gens ne comprenaient pas que les théories ne sont que des représentations ou, ce qui revient au même, qu'elles sont des créations humaines. Mais, des difficultés émergeaient aussi de la méthode choisie pour présenter leur contenu physique. À l'époque, presque toute la communauté des physiciens avait choisie la méthode inductive. Ils considéraient que l'expérimentation était le point de départ des lois de la mécanique. Dans ce type de méthode, par définition, on ne transcendait pas l'expérience, l'utilisation d'éléments autres ceux fournis par elle, était interdite. Les hypothèses non suggérées par l'expérience étaient comprises comme des éléments ajoutés à la théorie et n'étaient pas conseillées. Aux yeux des phénoménologues, cet emploi d'hypothèses était mal vu parce qu'on ne gardait pas assez de distance vis-à-vis des spéculations métaphysiques. Cela étant dit, on comprendra mieux que Boltzmann, dans son affrontement avec les phénoménologues, ait cherché à montrer qu'il était nécessaire de transcender l'expérience, si l'on voulait reformuler une théorie scientifique, plutôt que la discréditer.

Boltzmann ne pouvait pas accepter la position des phénoménologues. Leur attitude empêchait le développement, non seulement de la mécanique, mais même de toute la science. Sans l'utilisation explicite d'hypothèses, on n'aurait aucune chance de construire des théories scientifiques. En critiquant le point de vue de Kirchoff, il visait l'établissement d'une méthode de recherche qui, se voulant correcte en fonction des bases de la théorie physique, donnait à l'imagination scientifique une liberté d'action plus grande que celle admise par les phénoménologues. Cette méthode devrait, par exemple, permettre de clarifier la nécessité d'hypothèses. Comme le savant crée ses hypothèses, Boltzmann débuta son travail en mécanique, qui devrait aboutir à la mise en place de cette méthode, par l'analyse des modes de la pensée humaine : donc, ni par le domaine de la théorie physique comme Kirchoff l'avait fait, ni par

l'analyse des données de la perception, tel que Mach l'avait fait. C'est en analysant la façon humaine de se représenter la nature qu'on peut trouver des clés nécessaires pour fonder une méthode de recherche capable d'expliquer, par exemple, les faits propres à la physique. En résumé, nous pouvons dire que Boltzmann a suivi le dessein épistémologique de Hertz, même s'il y a apporté d'importantes modifications.

## 6. La méthode déductive

Selon Boltzmann, seulement la méthode déductive s'accordait avec l'idée que toute théorie physique est bâtit sur des créations humaines et qu'elle n'est, par conséquent, qu'une représentation. Si la théorie physique peut représenter le monde sensible, c'est aussi que, dès le début du travail théorique, elle mettait en lumière la nécessité d'aller plus loin que l'expérience. Dans cette méthode, on aura toujours un espace pour que la fécondité théorique des savants se développe sans contraintes. La mécanique pourrait être construite à partir des fondements et, une fois finie cette construction, on pourra faire la comparaison entre le bâtiment et l'expérience.

Dans la méthode déductive, on inverse le point de départ du travail de recherche scientifique : on ne part plus de l'expérience, mais de ce que le savant comprend pour vrai, selon ses propres conceptions épistémologiques, déguisées en principes mécaniques. En réalité, la méthode déductive pressuppose un travail de nature épistémologique du côté du savant. Celui-ci aurait alors besoin de savoir de ce qui est une théorie scientifique et qu'elle est sa portée.

En sachant comment les théories sont construites, le physicien pourra contrôler leur degré de validité hypothétique, en établissant les fondements des théories de manière cohérente et de façon à les mettre en correspondance avec l'expérience. Bien entendu, une réduction à un degré zéro est complètement exclue, car, comme nous l'avons déjà dit, les théories scientifiques sont des créations de la pensée humaine. En d'autres termes, aucune théorie ne peut pas être comprise comme étant une copie exacte de la nature. Différemment de ce que pensait Poincaré, pour qui ce contrôle passait seulement par l'expérience, Boltzmann croyait que le savant lui-même avait cette capacité puisque celui-ci pourrait entraîner une critique gnoséologique aux concepts et principes des théories physiques.

Si l'on est d'accord avec ce qui est dit dans la citation, on acceptera alors qu'on doit à tout prix éviter de dépasser la capacité de la mécanique. On évitera ainsi de poser des questions, dont elle ne peut pas répondre. En même temps, on ne permettra pas que se reproduise ce qui s'est passé après la publication des *Principia* de Newton, quand les plus passionnés adhérents de cette théorie ont cru que l'espace et le temps absolus avaient une existence réelle, et qu'ils étaient des entités ontologiques et non épistémologiques et/ou méthodologiques. Quand on applique la méthode déductive,

on ne se propose pas de représenter les choses en soi. On cherche plutôt à construire des représentations adéquates, ou appropriées des phénomènes à partir d'images internes (*geistige Bilder*). Ces images internes sont élaborées à partir d'abstractions de la pensée qui sont choisies par les scientifiques. Boltzmann concédait que, dans la méthode déductive, les premiers éléments des représentations étaient artificiels car construits par la pensée humaine. Cependant, cette artificialité (*Willkürlichkeit*) n'avait rien de mauvais, en sachant que l'expérience n'a pas contribué à l'élaboration des premiers concepts, les scientifiques avaient plus de chance de mieux contrôler cette même artificialité. Ainsi, la théorie scientifique peut être développée ultérieurement de façon non-contradictoire. Le cheminement déductif se pose alors pour le scientifique de la façon suivante : d'abord, on définit abstraitement les concepts qui sont à la base de notre théorie (dans le cas momentanément considéré, la mécanique). Ensuite, on compose les représentations qui réunissent ces définitions.

Finalement, on en déduit toutes les conséquences possibles. Seulement après avoir construit l'ensemble des représentations, on le compare avec l'expérience à fin de savoir s'il concorde, ou pas, avec la nature. Jusqu'à ce moment de la comparaison, on ne doit faire aucun appel à l'expérience. L'exigence la plus forte qu'on pose à ces images mentales et aux représentations, construites de manière « artificiel », est qu'elles doivent être présentées comme univoques : elles ne peuvent pas laisser d'espace aux doutes.

Alors que dans les autres formulations de la mécanique, ayant débutées suivant des motivations purement expérimentales, la justification des images est soumise à ce qui sensibilise les organes sensoriels humains. Dans la formulation déductive, par contre, la nécessité des premières images est donnée par la raison, elles sont justifiées à partir de l'instant, où leur confrontation expérimentale décide à leur faveur. Dans la méthode déductive, la confrontation tardive avec l'expérience signifie aussi, à part l'idée que la justification des premières images est faite à partir de l'accord avec les modes de fonctionnement propres à la raison, qu'il y a plusieurs façons différentes de représenter le même ensemble des phénomènes puisque cette même raison les rend possible. La méthode déductive ne donne alors aucune autre preuve pour ces images.

Cependant, il reste encore un problème avec la méthode déductive : le cheminement parcouru pour aboutir à ces images mentales et représentations n'est visible en aucun instant. C'est-à-dire, jusqu'à la confrontation avec l'expérience, leur validité et leur justification de ces images restent in suspensio. Néanmoins, et selon Boltzmann, cela est la règle dans le domaine de la philosophie de la science : les connexions des déductions apparaît plus facilement si l'on suit leur ordre naturel et logique, sans faire appel à quelque autre chose qui n'était pas posée au début. Comme Boltzmann lui-même remarque, ce cheminement déductif fût aussi suivi par Hertz dans son ouvrage sur la mécanique.

Dans la méthode inductive, qui forme la deuxième manière de présenter la mécanique classique et qui était, à l'époque-là, partagée par la majorité des physiciens, on part des faits, tels qu'ils se montrent à l'observation. Les images sont donc construites à partir de l'observation, et chaque hypothèse est introduite à l'instant, où on ne peut plus les éviter. Le point faible de cette méthode, se trouve dans le fait que, dès le début, les images ne surgissent pas avec la même clarté que dans la méthode déductive et on ne peut pas comprendre leurs conséquences. Son avantage se situe dans le fait qu'elle permet de comprendre comment les images abstraites sont obtenues et pourquoi sont elles employées.

Mais, pour Boltzmann, cela ne signifie pas que la méthode inductive soit supérieure à la méthode déductive, sa méthode préférée, car la première introduit dans le raisonnement une fausse possibilité de nature épistémologique, à savoir qu'on peut se passer des abstractions. Selon Boltzmann, cette possibilité n'existe pas. Le savant n'a pas les moyens de laisser à côté ces abstractions. Les théories scientifiques sont des représentations du monde phénoménal. Ce qui veut dire que, dans l'activité scientifique, on construit un monde nouveau qu'on met à la place du monde observé. Le point de départ de cette construction se trouve dans ce que le scientifique amène avec lui dans son travail de recherche : ses créations théoriques.

## 7. Conclusion

La « leçon » qu'on tire de la défense boltzmannienne est que les scientifiques doivent être conscients du fait que l'objet du discours scientifique est une création humaine, puisque : « Les mots les plus simples tel que jaune, doux, amer, etc., qui apparaissent comme fournissant de simples sensations, expriment déjà des concepts, lesquels ont été gagnés à partir des faits de l'expérience à travers l'abstraction. » (Boltzmann 1905, p. 286 ; la traduction est mienne.)

Boltzmann remplace alors l'illusion des phénoménologues par l'exigence suivante : la science naturelle n'a pas le droit de dépasser de beaucoup le domaine expérimental (*über das Ziel hinauschiessen*), on a le droit d'introduire des abstractions susceptibles d'être confrontées, le plus vite possible, avec l'expérience. Cette dernière constitue ainsi le dernier contrôle que doivent subir les représentations pour qu'elles puissent accepter comme vraies.

L'expérience n'est alors ni leur origine, ni le premier critère qui permettra de décider de leur validité. Avant ce critère de veracité — c'est-à-dire, réussite dans la description et d'explication des phénomènes observés dans la nature -, une théorie scientifique a des critères épistémologiques à suivre. La nécessité et les avantages de ces critères sont plus facilement compris, si l'on reste attaché à la méthode déductive. Ceci suffirait, d'ailleurs, pour montrer qu'on a compris la caractéristique la plus

remarquable de la recherche scientifique : qu'une théorie scientifique est une libre création de l'esprit humain.

Les réflexions que Boltzmann a fait sur les principes de la mécanique, furent d'une importance remarquable dans son propre travail de renforcement de ses positions épistémologiques. Elles nous montrent que la philosophie et la science peuvent travailler ensemble. L'argumentation de Boltzmann est aussi assez concluante car son analyse sur les principes de la mécanique, il l'a fait d'un point de vue situé à l'intérieur de la problématique mécanique. Comme théoricien, Boltzmann sent la nécessité de réfléchir sur la mécanique à partir de ce point de vue. Nous venons de montrer que le noyau de cette science est constitué d'images et des représentations, et que ceci lui donne un caractère double, à la fois scientifique et philosophique. Précisément la reconnaissance de ce fait permet au scientifique de faire de la philosophie sans tomber dans le piège de la spéculation démesurée et débordante.

Puisque le noyau de toute science est de nature théorique, on doit délibérément chercher à obtenir des images et des représentations qui soient les plus précises possibles, elles ne doivent pas contenir des concepts vagues et confus. Selon Boltzmann, cette exigence est un résultat, un corollaire, d'un de ses principes épistémologiques majeurs : plus les représentations sont claires, précises et non-ambigües, plus elles correspondent aux lois de la pensée. Mais, cette correspondance entre lois mécaniques et lois de la pensée ne veut pas dire qu'il n'y ait pas d'autres images et représentations mécaniques capables d'ordonner et expliquer la nature. Boltzmann a toujours cherché à laisser de place libre pour d'autres représentations. Il n'a jamais voulu exclure les théories « mécaniques » de type énergétique et/ou phénoménologique. Sous peine de se mettre contre sa propre épistémologie, il formula sa mécanique tout en sachant que la dogmatisation représente un péril pour la science. La défense est motivée par sa préférence pour la mécanique en tant que théorie aussi bien que par des principes épistémologiques qui lui étaient chères.

Une caractéristique importante de la tactique de sa défense, c'est la récurrence avec laquelle il présente ses raisons de son choix. Ceci devient intelligible si l'on se souvient que Boltzmann, dans ses articles épistémologiques et dans ses livres textes, voulait se prononcer contre les conceptions des énergétistes et des phénoménologues. Il savait que ce « combat » était l'effet de son choix épistémologique. Il présentait ce dernier comme une certaine attitude face à la science et qui suivait ses principes épistémologiques. Nous pensons que la position boltzmanienne face à ce débat autour des principes de la mécanique devient même incompréhensible si l'on méconnaît l'esprit qui la pénètre, à savoir :

Je veux simplement travailler contre l'attitude irrefléchie qui déclare être la vieille image de la mécanique un point de vue dépassé, avant qu'une autre image soit rendue possible, et ceci dès ses fondements premiers jusqu'à l'application aux phénomènes les plus importants, lesquels la vieille image a

représentée si exhaustivement. Particulièrement, où les innovateurs n'ont la moindre compréhension de comment est difficile construire une telle image. (Boltzmann 1974, p. 258 ; la traduction est mienne.)

## Références Bibliographiques

- Boltzmann, L. 1905. *Populäre Schriften*. Leipzig: J. A. Barth.  
 ———. 1974. *Theoretical Physics and Philosophical Problems*. Brian McGuinness (ed.). Dordrecht/Boston: D. Reidel Publishing Company.  
 Dugas, R. 1959. *Théorie Physique au Sens de Boltzmann*. Neuchâtel: Éditions du Griffon.  
 Helmholtz, H. v. 1984. Einleitung zu den Vorlesungen ueber theoretischen Physik. In R. Rompe und H. J. Trede (Hrgs.) *Zur Grundlegung der theoretischen Physik*. Berlin: Akademie-Verlag.  
 Hertz, H. 1984. Einleitung zur Mechanik. In R. Rompe und H. J. Trede (Hrgs.) *Zur Grundlegung der theoretischen Physik*. Berlin: Akademie-Verlag.  
 Mach, E. 1991. *La Mécanique*. (traduit par E. Bertand) Paris: Editions J. Gabay.

ANTONIO A. P. VIDEIRA  
 Departamento de Filosofia  
 Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
 Rua São Francisco Xavier, 524, sala 9027B  
 Maracanã  
 20550-013 Rio de Janeiro, RJ  
 BRÉSIL  
 guto@cbpf.br

**Resumo.** O objetivo deste artigo consiste em expor as idéias, que o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) sobre o papel que a mecânica clássica desempenha na física. Ele as concebeu numa época em que a mecânica clássica começava a ser considerada como ultrapassada como fundamento para a física. Boltzmann jamais aceitou essa conclusão. Ele a rejeitou ao mesmo tempo em que desenvolvia um pensamento epistemológico sobre a natureza das teorias físicas. Segundo ele, as teorias científicas são apenas representações dos fenômenos naturais.

**Palavras-chave:** Boltzmann, mecânica clássica, método dedutivo, Hertz, Kirchhoff.

## Notes

<sup>1</sup> «L'opinion qui fait de la mécanique la base fondamentale de toutes les autres branches de la physique, et suivant laquelle tous les phénomènes physiques doivent recevoir une explication mécanique, est selon nous, un préjugé. La connaissance la plus ancienne au point de vue historique ne doit pas nécessairement rester la base de la compréhension des faits découverts plus tard.» (Mach 1991, p. 465)

<sup>2</sup> Cet article reprend des idées que j'ai développées premièrement dans mon travail de doctorat. Je tiens ici à remercier le CNPq pour la bourse de recherche en productivité.

<sup>3</sup> On doit toujours faire attention à l'importance que la mécanique classique a occupé dans les préoccupations scientifiques et épistémologiques de Boltzmann. Celui-ci a beaucoup travaillé sur ce domaine. Il a publié quatre grands articles et un livre didactique en deux tomes, tous dédiés à la mécanique classique. Comme l'a bien noté Dugas : « De fait, toute au long de sa carrière et en marge de son oeuvre sur la théorie cinétique, il n'a cessé de réfléchir aux principes de la mécanique. » (Dugas 1959, p. 68).