**UN APERÇU DE LA DISCUSSION SUR LES
PRINCIPES DE LA MÉCANIQUE RATIONNELLE
EN FRANCE À LA FIN DU SIÈCLE DERNIER**

Konstantinos CHATZIS (*)

RÉSUMÉ. — À partir des années 1870, en Allemagne d'abord, dans plusieurs autres pays européens ensuite, la mécanique rationnelle, en tant qu'exemple de science achevée et incontestable dans ses résultats, fait l'objet d'une discussion critique. Des philosophes et des scientifiques s'interrogent sur ses concepts primitifs et ses principes fondateurs, examinent les formulations léguées par la tradition et en proposent de nouvelles, analysent enfin les rapports qu'elle entretient avec les données de l'expérience. Centré sur la France des années 1890–1905, le présent article est une contribution locale à l'étude de ce débat de caractère international. Il met en scène notamment une série d'auteurs qui, actifs dans la discussion de l'époque, sont aujourd'hui frappés d'oubli par la science et l'histoire. À travers leurs interventions, nous suivons l'évolution de la mécanique en quête de nouvelles conceptions du savoir scientifique.

ABSTRACT. — AN OUTLINE OF THE DEBATE ON THE PRINCIPLES OF RATIONAL MECHANICS IN FRANCE AT THE CLOSE OF THE 19TH CENTURY. From the 1870s on, in Germany initially, and then in various other European countries, rational mechanics, as an instance of a complete, closed science, yielding results of unquestionable validity, became a subject for critical debate. Philosophers and scientists questioned the discipline's basic concepts and grounding principles, scrutinised traditional formulations and proffered novel ones, and investigated its relation to the givens of experience. Focusing on France, in the years 1890–1905, the present paper is to be taken as a local study, and a contribution to the examination of that international debate. It brings into view, most notably, a number of authors, participants in the then-ongoing debate, who nowadays are generally forgotten or passed over by scientists and historians alike. Through their contributions, the evolution of mechanics may be followed, in its quest for a new concept of scientific knowledge.

(*) Texte reçu le 20 mai 1994, révisé le 4 septembre 1995.

Konstantinos CHATZIS, Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés (LATTS), École nationale des ponts et chaussées, Central IV, 1 av. Montaigne, 93167 Noisy-le-Grand CEDEX (France).

INTRODUCTION

À partir des années 1870, la mécanique rationnelle, en tant qu'exemple de science achevée et incontestable dans ses résultats, se place au centre d'un débat critique ayant comme objet la nature du savoir scientifique. Entamée en Allemagne, qui reste à cet égard son foyer le plus productif, la discussion ne tarde pas à gagner progressivement les autres pays européens¹. Jusqu'aux premières années de ce siècle, des savants et des philosophes, intéressés aux questions ayant trait à la théorie de la connaissance, se penchent sur la mécanique rationnelle, questionnent ses concepts primitifs et ses principes fondateurs, examinent ses présupposés, rectifient les formulations léguées par la tradition et en proposent de nouvelles, interrogent enfin les rapports qu'elle entretient avec le réel et les données de l'expérience.

Portant sur la composante française de la discussion qui se déroule pour l'essentiel entre 1890 et 1905, le présent travail se veut une contribution locale à l'étude de ce débat de caractère international. Dans ce but, l'article analyse plusieurs contributions dues, le plus souvent, à des auteurs aujourd'hui frappés d'oubli par la science et l'histoire, mais qui n'en ont pas moins joué un rôle important dans la discussion de l'époque. Leur intervention, peu étudiée jusqu'ici, nous fait assister à la transformation progressive de la mécanique rationnelle en quête de nouvelles conceptions plus réflexives du savoir scientifique, conceptions parmi lesquelles le holisme de Duhem et le conventionnalisme de Poincaré sont les manifestations (françaises) les plus connues².

Notre parcours se divise en trois étapes. Nous présentons d'abord rapidement la conception classique des principes de la mécanique rationnelle en France durant la deuxième moitié du siècle dernier : trouvant des assises institutionnelles à partir des années 1850, elle est toujours présente au tournant du siècle, muée entre-temps en tradition par rapport à laquelle

¹ Pour une cartographie (quasi) exhaustive des discussions, voir l'article [ESM 1915] qui contient de loin le bilan le plus complet du débat de l'époque. On trouve quelques indications supplémentaires dans [Cosserrat 1908]. D'autres références portant sur divers aspects du débat seront données au fur et à mesure.

² La pensée de ces deux auteurs ayant déjà fait l'objet de plusieurs analyses, nous avons préféré, dans le cadre de cet article, mettre l'accent sur les contributions moins connues, mais également originales en ce qui concerne la critique des principes de la mécanique rationnelle.

partisans et détracteurs doivent se situer. Nous poursuivons par l'exposé d'un certain nombre de critiques adressées à cette conception traditionnelle à partir des années 1885. Dans un troisième temps nous étudions l'implication de quelques grands mathématiciens dans ce mouvement de questionnement critique des principes de la mécanique rationnelle. Responsables de l'enseignement de la mécanique dans des établissements prestigieux de l'époque (Sorbonne, École polytechnique, École centrale des arts et manufactures), ces mathématiciens, directement impliqués dans les débats, multiplient analyses et prises de position.

BÉLANGER ET L'ENSEIGNEMENT CLASSIQUE DE LA MÉCANIQUE RATIONNELLE

En 1850, une commission, nommée par décret sur proposition du ministre de la Guerre, entreprend une révision radicale des programmes d'admission et d'enseignement à l'École polytechnique³. Abritant en son sein des noms illustres de l'époque, tels Poncelet, Morin et Duhamel, elle s'attaque en particulier à l'organisation de l'enseignement de la mécanique dispensé dans cet établissement. C'est J.-B. Bélanger⁴, élu en 1851 professeur de mécanique et des machines à l'École polytechnique, conformément aux souhaits de la Commission, qui va essayer de matérialiser ce projet. Sans entrer dans les détails, disons que le nouveau cours de l'École polytechnique intègre deux innovations majeures de la période précédente et, le poids de l'institution aidant, il va jouer un rôle

³ Sur cette commission et la conception de la mécanique en France pendant la première moitié du XIX^e siècle, voir [Chatzis 1994].

⁴ Jean-Baptiste Bélanger (1790–1874), polytechnicien et ingénieur des ponts et chaussées, professeur de mécanique à l'École centrale des arts et manufactures (1838–1864), à l'École des ponts et chaussées (1841–1855) et à l'École polytechnique (1851–1861), constitue une figure importante dans l'enseignement de la mécanique en France au XIX^e siècle. On retrouve la façon de concevoir les principes de la mécanique mise en avant par Bélanger dans plusieurs traités et cours de mécanique de la fin du siècle dernier (voir, entre autres, le traité d'Appell [1893], le cours de Léauté à l'École polytechnique [1898], ainsi que les témoignages de Milhaud [1894, p. 99] et de Vaschy [1895, p. 5]). Sa réputation d'enseignant traverse par ailleurs les frontières françaises. Reuleaux [1875] le cite de manière élogieuse dans l'introduction de son livre sur la théorie générale des machines. Mach [1883], pourtant avare de références, accueille le traité de Bélanger de 1847 dans la liste bibliographique de son ouvrage sur la mécanique. Sur Bélanger, voir [Chatzis 1994].

de référent en matière de conception de la mécanique pendant au moins un demi-siècle en France.

La première innovation, suggérée par Ampère [1834] et mise en œuvre par Poncelet en 1838 dans ses cours de mécanique physique à la Faculté des sciences de Paris⁵, consiste à commencer la mécanique par la cinématique, à savoir l'étude du mouvement des corps sans aucune référence aux conditions de sa production. La deuxième innovation, due à Bélanger lui-même, prend la forme d'un renversement d'une longue tradition. En effet, la statique, depuis longtemps dominante au sein de la mécanique, est reléguée par Bélanger au second plan, n'étant au fond qu'un cas limite de la dynamique (accélérations nulles)⁶.

Loin d'être une simple question d'ordre dans la présentation des différentes parties de la mécanique, le renversement opéré par Bélanger affecte la conception que l'on s'en fait. « Renoncer » à la statique, c'est, en effet, renoncer également à ses types de raisonnement et à ses modes de justification. Rappelons que jusqu'alors la statique ne fournit pas seulement à la mécanique le principe des vitesses virtuelles⁷, lequel, couplé avec le principe de d'Alembert, permet de transformer tout problème de mouvement en question d'équilibre, elle lui imprime également son style de raisonnement géométrique. Il en résulte que la mécanique se présente encore souvent durant la première moitié du XIX^e siècle sous la forme d'une science « axiomatique », déployant ses vérités par voie déductive à partir d'une vérité première, « transparente » à la raison, et faisant massivement appel à des modes de justification *a priori* tels que le principe de symétrie⁸.

Quelle est la place réservée aux principes dans cette nouvelle conception de la mécanique qui débute par la cinématique et qui englobe la statique dans la dynamique ? Quels sont les modes de justification à l'œuvre ? C'est lors de la transition de la cinématique à la dynamique que les principes

⁵ Sur ce cours de Poncelet, voir les témoignages de Flamant [1888/1911, p. v] et d'Appell [1902, p. 43].

⁶ La première présentation de sa nouvelle conception de la mécanique, expérimentée dans une série de cours délivrés à l'École centrale durant les années 1840, se trouve dans [Bélanger 1847].

⁷ Pour une histoire du principe des vitesses virtuelles voir, entre autres, les analyses de P. Bailhache [1975].

⁸ Pour des exemples concrets, voir [Chatzis 1994]. Sur le principe de symétrie, voir [Dhombres et Radelet-de Grave 1991].

font leur apparition. En effet, la cinématique, étude du mouvement *per se*, n'est au fond qu'une géométrie élargie qui a accueilli le temps à côté de son objet traditionnel, l'espace, son ordre étant construit de déduction en déduction. Le réel (physique) n'entre en scène qu'avec la dynamique, quand on passe des figures aux corps. L'étude du mouvement de ceux-ci exige des principes et un arsenal conceptuel plus riche que celui de la cinématique. Elle exige également des types de raisonnement et des modes de justification nouveaux par rapport à ceux mobilisés dans le cadre de la cinématique.

Imbu de la croyance positiviste en la seule autorité de l'observation en matière de vérité scientifique, Bélanger écarte toute référence à des vérités transparentes à la raison, évidentes par elles-mêmes, donc *a priori*⁹. Non fondés en eux-mêmes, les principes de la dynamique sont désormais justifiés par l'accord supposé entre les conséquences que l'on peut en tirer et les observations recueillies. «*L'accord complet de l'expérience avec les conséquences du principe en est la confirmation*» deviendra l'énoncé canonique du nouveau mode de justification [Bélanger 1864b, p. 7]¹⁰.

Trois principes fondent la mécanique d'après Bélanger. Avant de les énoncer, il s'interroge sur une question d'identité : qu'est-ce que la dynamique, quels sont ses traits diacritiques par rapport à la cinématique ? «*La dynamique (du grec Δυναμις, force, puissance) est la partie de la mécanique qui s'occupe des relations du mouvement des corps avec ses causes, appelées forces*» [*Ibid.*, p. 1]. La force, notion aussi certaine que tout ce qui nous vient de l'expérience¹¹, marque la transition de

⁹ Pour mesurer l'importance du changement, il suffit de penser à toutes les démonstrations *a priori* du principe d'inertie basées sur l'argument de la symétrie, à commencer par celles d'Euler et de d'Alembert : «*Car un corps ne peut se déterminer de lui-même au mouvement, puisqu'il n'y a pas de raison pour qu'il se meuve d'un côté plutôt que d'un autre. Corollaire : De là il s'ensuit, que si un corps reçoit du mouvement pour quelque cause que ce puisse être, il ne pourra de lui-même accélérer ni retarder ce mouvement*» [d'Alembert 1743/1758, p. 4]. On trouve le même type de démonstration dans le cas de la proportionnalité des forces aux accélérations [Chatzis 1994]. Comte critique ces démonstrations *a priori* dans ses leçons consacrées à la mécanique [1830, leçons 15–18]. (Sur les démonstrations *a priori* du principe de l'inertie, voir [ESM 1915, p. 19] et [Meyerson 1908, chap. 3].)

¹⁰ On trouve une formulation explicite de ce type de raisonnement chez C. Huygens [1690]. En France et dans le domaine de la mécanique, c'est L. Carnot [1783] qui tient ce type de raisonnement. (Sur ces questions, voir [Laudan 1981].)

¹¹ D'après Bélanger, la notion de force procède, comme celles de durée et de