

Une difficulté de la construction du concept de force

■ A propos de l'article de Max Jammer sur le concept de force et son évolution depuis les notions pré-scientifiques jusqu'à son contenu récent (*la Recherche*, n° 43, p. 221, mars 1974), j'aimerais appeler l'attention sur une difficulté conceptuelle de cette notion à ses débuts qui touche à l'unification des divers types de forces en jeu à cette époque.

Au temps de Newton, plusieurs types de causes de mouvement, donc de forces, étaient connus, qui n'avaient pour ainsi dire pas de lien entre eux : les forces de choc, celles par pression, et les forces centripètes (ces dernières comprenant aussi bien le mouvement d'une fronde que la gravité, l'attraction des planètes ou les attractions électrique et magnétique). L'une des grandes innovations des *Principia mathematica* fut de réunifier effectivement ces divers types de forces, dont les unes (celles par choc) étaient discontinues et quasi instantanées, et les autres continues et appliquées durant un laps de temps fini : les *Principia* établissaient qu'elles étaient toutes justiciables du même type de traitement. Mais cette unification n'allait pas sans quelque ambiguïté ni paradoxe.

Si l'on considère les énoncés des deuxième et troisième lois de Newton, celle exprimant la relation entre la force imprimée et le mouvement (généralement traduite aujourd'hui par la relation

$$F = m\gamma, \text{ ou } F = dm\gamma/dt$$

et celle de l'action et de la réaction, on constate qu'ils portent — tout comme les discussions qui les suivent — sur des mouvements par chocs. On sait par ailleurs que ces lois sont de validité plus générale, validité exprimée par les développements qui les suivent et qui aboutissent aux lois du « système du monde ». C'est que le mouvement par choc possède une valeur illustrative, permettant de se représenter intuitivement la manière dont la force altère le mouvement. Une certaine imprécision en résulte sur le terme de force (imprécision qui se trouve notamment dans la troisième loi, faisant appel aux notions d'action et de réaction, qui sont plus intuitives que précises).

Le cas de la seconde loi est des plus instructifs à cet égard. Rappelons son énoncé : « Le changement de mouvement (c'est-à-dire, dans le contexte, de quantité de mouvement, mv), est proportionnel à la force imprimée et colinéaire à celle-ci. » Ce qui devrait être traduit par $\Phi = \Delta mv$, et non par $F = dm\gamma/dt$; pour cette dernière formule, qui concerne le cas d'une application continue de la force, il aurait fallu considérer le « taux de changement » et non le simple « changement ». Les deux formules ne sont pas équivalentes, ce qui laisse à penser — étant donné que Newton a effectivement utilisé, à la suite de la deuxième loi, cette dernière formule dans ses calculs — que le concept de force, dans sa construction même par Newton, est relativement vague (ne serait-ce que d'un point de vue dimensionnel, puisque $\Phi = Fdt$, et Φ est aussi bien une force que F).

Dans le premier cas, qui traite d'impacts quasi instantanés, la notion de temps est absente. Le deuxième cas est implicitement généralisé à partir du premier, et le passage de l'un à l'autre marque l'unification des notions de force. Pour comprendre le passage (non explicite) du premier au second, il faut se reporter aux définitions qui précèdent l'énoncé des lois. La définition 4 établit expressément que la force imprimée, cause du changement de mouvement, relèvé indifféremment des types cités et autorise une généralisation des mouvements dont les causes sont sensibles à ceux pour lesquelles elles sont moins évidentes (entre autres l'attraction ou action à distance). Les définitions 7 et 8 traitent le cas des forces continues par l'exemple des forces centripètes, et font intervenir dans le changement de mouvement la notion de « temps donné », déclarant que la force motrice est proportionnelle à la quantité de mouvement qu'elle produit dans un temps donné (ce qui est l'exact équivalent de la formule $F \approx dm\gamma/dt$). La notion de force motrice étant étendue à la gravité, la force était désormais un concept de validité universelle.

Il était probablement évident pour Newton que la deuxième loi, malgré sa formulation restrictive qui la rapportait aux seuls chocs instantanés et discontinus, était d'application plus générale, étant donné les définitions qui précédaient. Elle est précisément le lieu d'unification des forces d'impulsion et des forces continues, le prix de cette unification étant une certaine imprécision sémantique ou une incohérence dimensionnelle. (Entro autres références, on pourra consulter I.B. Cohen, in *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton*, R. Palter ed., MIT Press, 1970, p. 143-191.)

Michel Paty,

Maître de recherches au CNRS,
Strasbourg.