

# De la définition de la masse

*Ernst Mach*

[355] Le fait que les principes de la mécanique ne puissent être trouvés ni de manière entièrement *a priori* ni entièrement par l'expérience (car il est impossible de conduire des expériences [Experimente] suffisamment nombreuses et précises), entraîne un traitement particulièrement imprécis et non-scientifique de ces principes et des notions fondamentales. Il est rare qu'on détermine avec assez de netteté et de distinction ce qui est intelligible *a priori*, ce qui relève de l'expérience, et ce qui relève d'une hypothèse.

Or, je ne puis concevoir d'autre manière d'exposer les principes de la mécanique qu'en considérant ces propositions comme des hypothèses fortement suggérées par l'expérience [Erfahrung], hypothèses que l'on démontre *a posteriori* en montrant que leur rejet entraîne des contradictions avec les faits les mieux étayés.

Dans les recherches scientifiques, on ne peut tenir pour plausible que la loi de causalité ou le principe de raison suffisante qui n'est lui-même qu'une forme de la loi de causalité. Aucun chercheur ne révoque en doute le fait que, dans des circonstances identiques, la même chose se produise, ou que l'effet soit entièrement déterminé par la cause. Nous ne sommes pas tenus de répondre à la question de savoir si la loi de causalité repose sur une induction forte ou si elle trouve sa raison d'être dans notre organisation psychique, étant donné que dans la vie psychique, les mêmes circonstances produisent aussi les mêmes effets.

L'importance du principe de raison suffisante pour un chercheur est démontrée par les travaux de Clausius consacrés à la théorie mécanique

de la chaleur ou encore par les recherches de Kirchhoff sur les rapports entre les pouvoirs d'absorption et d'émission. Grâce à ce principe et à force d'en prendre l'habitude, le chercheur bien formé adapte sa [356] pensée à la détermination de l'identité de la nature dans les effets qu'elle produit. Des expériences [Erfahrungen] même insignifiantes suffisent alors pour faire découvrir, par exclusion de tout ce qui est contradictoire avec eux, des faits très importants concordants avec ces expériences antérieures.

En général, on n'hésite pas longtemps pour affirmer l'évidence immédiate d'une proposition. La loi d'inertie, par exemple, est souvent présentée comme si elle ne nécessitait pas d'être établie à partir de l'expérience, alors qu'elle ne peut pas en dériver. Si les masses opposées ne s'imprimaient pas mutuellement des accélérations, mais des vitesses diverses selon les distances, la loi d'inertie n'existerait pas. À l'inverse, la question de savoir si l'un ou l'autre de ces cas se produit ne peut être connu autrement que par l'expérience. Si nous n'avions que des sensations thermiques, il n'y aurait que des vitesses qui se compenseraient et qui deviendraient égales à 0 en fonction des différences de température.

« L'effet de chaque cause persiste », peut-on dire à juste titre des mouvements de masses tout autant que le contraire, à savoir « *cessante causa cessat effectus* ». Ce n'est là qu'un affaire d'expression. Si l'on désigne par « effet » la *vitesse acquise*, c'est la première proposition qui est vraie ; si l'on désigne par « effet » l'*accélération*, c'est la deuxième.

De la même façon, on tente de dériver *a priori* le principe du parallélogramme des forces, mais on est dans l'obligation d'introduire alors subrepticement la présupposition selon laquelle les forces demeurent indépendantes les unes des autres.

Mais toute la dérivation est alors superflue.

À présent, je voudrais d'abord illustrer ce qui vient d'être dit à l'aide d'un exemple et montrer comment je conçois une manière rigoureusement scientifique de traiter le concept de masse.

La difficulté à laquelle on se heurte assez généralement avec le concept de masse tient à mon avis à deux faits :

- 1) à l'arrangement défectueux des notions fondamentales et des énoncés de la mécanique ;
- 2) au fait que l'on passe sous silence certaines présuppositions importantes sur lesquelles repose la déduction.

Par convention, on définit  $m = p/g$  et de même  $p = mg$ .

Ou bien il s'agit là d'un monstrueux cercle vicieux, ou bien on se doit de concevoir la force comme une « pression ». — La deuxième option est inéluctable [357] si l'on fait précéder la dynamique par la statique, comme c'est l'usage. On connaît la difficulté de définir la grandeur et la direction de la force.

Dans le principe newtonien qui est placé d'ordinaire au début de la mécanique et selon lequel « *Actioni contrariam semper & aequalem esse reactionem : sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales & in partes contrarias dirigi* »<sup>1</sup>, dans ce principe donc, l'*actio* est encore une fois une pression, ou alors le principe est entièrement incompréhensible si nous ne disposons pas préalablement des notions de force et de masse. — Cette « pression » placée au début de la mécanique toute phoronomique de notre époque est quelque chose de très étrange.

Mais cela peut être évité.

Si l'n'y avait qu'une espèce de matière, le principe de raison suffisante rendrait assez intelligible le fait que deux corps parfaitement identiques, mais placés l'un en face de l'autre, n'impriment que des accélérations égales mais opposées l'une à l'autre. Il s'agit là d'un seul effet complètement déterminé par la cause.

Mais supposons à présent les accélérations indépendantes l'une par rapport à l'autre. Il en résulte ce qui suit. Un corps  $A$ , constitué de  $m$  corps  $a$ , est situé à l'opposé d'un corps  $B$ , composé de  $m'$  corps  $a$ . Soit  $\phi$  l'accélération de  $A$ , et  $\phi'$  celle de  $B$ . On obtient alors  $\phi : \phi' = m : m'$ .

Disons qu'un corps  $A$  a une masse  $m$  lorsqu'il contient  $m$  fois le corps  $a$ . Cela signifie que les accélérations se comportent en raison inverse des masses.

Pour faire l'expérience des rapports des masses de deux corps, nous les laissons agir l'un sur l'autre ; nous obtenons alors, en tenant compte du signe d'accélération,  $m : m' = -(\phi' : \phi)$ .

Si l'un des corps est supposé être l'unité de masse, celle de l'autre peut être obtenue par le calcul. Rien ne nous empêche d'appliquer également cette définition aux cas où deux corps de masses différentes agissent l'un

---

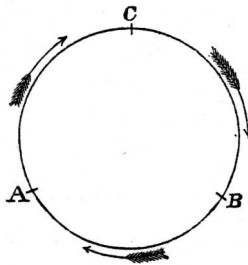
1. Il s'agit de la troisième loi du mouvement que Newton énonça dans son ouvrage *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Dans la traduction française de *Principes* proposée par Madame du Châtelet, cette loi a pris la forme suivante : « L'action est toujours égale & opposée à la réaction ; c'est-à-dire, que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, & dans les directions contraires. » (Isaac Newton : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, tome premier, Paris : Desaint & Saillant / Lambert, 1759, 18)

sur l'autre. Nous ne pouvons pas savoir *a priori* si nous n'obtiendrons pas toujours des valeurs différentes de masse si nous considérons d'autres corps de référence et d'autres forces. Lorsqu'on découvrit que  $A$  et  $B$  se combinaient chimiquement dans la proportion de poids  $a : b$ , et que [les corps]  $A$  et [358]  $C$  se combinaient dans la même proportion  $a : c$ , on ne pouvait prévoir en effet que  $B$  et  $C$  devaient se combiner dans la même proportion  $b : c$ . Il n'y a que l'expérience qui puisse nous enseigner que deux corps qui se comportent de même façon envers un troisième de masse égale, se comportent l'un par rapport à l'autre comme des masses égales.

Lorsqu'un morceau d'or est en présence d'un morceau de plomb, le principe de raison suffisante n'est plus d'aucune utilité. Nous ne sommes même pas en droit d'attendre qu'un mouvement de direction contraire se produise. Les deux corps pourraient s'accélérer dans le même direction. Le calcul ferait apparaître des masses négatives.

L'hypothèse selon laquelle deux corps se comportant envers un troisième comme des masses identiques, se comportent vis-à-vis de n'importe quelles forces de manière identique, est très probable parce que le cas contraire serait incompatible avec la loi de la conservation de la force que nous avons toujours trouvée confirmée jusqu'à présent.

Soient trois corps,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , qui se meuvent sur un anneau absolument lisse et absolument rigide.



Les corps agissent les uns sur les autres. De plus,  $A$  et  $B$ , ainsi que  $A$  et  $C$ , se comportent comme des masses identiques. Ainsi la même chose doit se produire entre  $B$  et  $C$ .

Si, à titre d'exemple,  $C$  se comportait vis-à-vis  $B$  comme une masse plus grande, et si nous imprimions la vitesse  $v$  à  $B$  dans la direction de la flèche,  $B$  imprimerait par le choc toute sa vitesse à  $A$ . Cependant si  $C$  imprimait à  $B$  une vitesse plus grande que  $v$  et en conservait une

quantité, à chaque révolution dans la direction de la flèche, la *vis viva* augmenterait dans l'anneau. Et c'est l'inverse qui aurait lieu si le mouvement initial s'opposait à la direction de la flèche. Il s'agirait alors d'un phénomène qui serait en flagrante contradiction avec les faits connus jusqu'à présent.

[359] Si l'on a défini la masse de cette manière, rien n'interdit de se servir de l'ancienne définition de la force comme le produit de la masse par l'accélération. Le principe newtonien se comprend alors de lui-même.

Du fait que tous les corps reçoivent de la terre une accélération égale dirigée vers le centre, nous disposons avec leur force (leur poids) d'une mesure commode de leur masse, mais seulement si l'on tient compte de deux présupposés, [à savoir] que les corps qui se comportent vis-à-vis de la terre comme des masses identiques, se comportent de la même façon vis-à-vis de tout corps et de toute force.

Par conséquent, la présentation à caractère scientifique des énoncés de la mécanique me paraîtrait la suivante :

*Énoncé expérimental* [Erfahrungssatz] : Des corps opposés s'impriment mutuellement des accélérations opposées selon la direction de la ligne qui les relie. (Le principe d'inertie est ici inclus.)

*Définition* : Des corps qui s'impriment mutuellement des accélérations identiques peuvent être dits de masse *identique*. — J'obtiens la mesure de la masse lorsque je divise l'accélération qu'elle imprime au corps de référence pris pour unité, par l'accélération qu'elle reçoit.

*Énoncé expérimental* : Les valeurs de la masse demeurent constantes lorsque je les détermine par rapport à d'autres forces ainsi que par rapport à un autre corps pris en référence, qui se comporte vis-à-vis du premier corps comme une masse égale.

*Énoncé expérimental* : Les accélérations que plusieurs masses s'impriment mutuellement demeurent indépendantes les unes par rapport aux autres. (Le principe du parallélogramme des forces est ici inclus.)

*Définition* : La force est le produit de la valeur de la masse d'un corps par l'accélération qui lui est imprimée.

Prague, le 15 novembre 1867.