

SUR LES PRINCIPES DE LA MÉCANIQUE

Par HENRI POINCARÉ,

Membre de l'Institut de France,
Professeur à l'Université de Paris.

Les Anglais enseignent la Mécanique comme une science expérimentale ; sur le continent, on l'expose toujours plus ou moins comme une science déductive et *a priori*. Ce sont les Anglais qui ont raison, cela va sans dire ; mais comment a-t-on pu persévérer si longtemps dans d'autres errements ? pourquoi les savants continentaux qui ont cherché à échapper aux habitudes de leurs devanciers, n'ont-ils pas pu le plus souvent s'en affranchir complètement ?

D'autre part, si les principes de la Mécanique n'ont d'autre source que l'expérience, ne sont-ils donc qu'approchés et provisoires ? Des expériences nouvelles ne pourront-elles un jour nous conduire à les modifier ou même à les abandonner ?

Telles sont les questions qui se posent naturellement, et la difficulté de la solution provient principalement de ce que les traités de Mécanique ne distinguent pas bien nettement

ce qui est expérience, ce qui est raisonnement mathématique, ce qui est convention, ce qui est hypothèse.

Ce n'est pas tout :

1° Il n'y a pas d'espace absolu et nous ne concevons que des mouvements relatifs; cependant on énonce le plus souvent les faits mécaniques comme s'il y avait un espace absolu auquel on pourrait les rapporter.

2° Il n'y a pas de temps absolu; dire que deux durées sont égales, c'est une assertion qui n'a par elle-même aucun sens et qui n'en peut acquérir un que par convention.

3° Non seulement nous n'avons pas l'intuition directe de l'égalité de deux durées; mais nous n'avons même pas celle de la simultanéité de deux événements qui se produisent sur des théâtres différents; c'est ce que j'ai expliqué dans un article intitulé la *Mesure du Temps*¹.

4° Enfin notre Géométrie euclidienne n'est elle-même qu'une sorte de convention de langage; nous pourrions énoncer les faits mécaniques en les rapportant à un espace non euclidien qui serait un repère moins commode, mais tout aussi légitime que notre espace ordinaire; l'énoncé deviendrait ainsi beaucoup plus compliqué; mais il resterait possible.

Ainsi l'espace absolu, le temps absolu, la Géométrie même ne sont pas des conditions qui s'imposent à la Mécanique; toutes ces choses ne préexistent pas plus à la Mécanique que la langue française ne préexiste logiquement aux vérités que l'on exprime en français.

1. *Revue de Métaphysique et de Morale*, t. VI, p. 1-13 (janvier 1898).

On pourrait chercher à énoncer les lois fondamentales de la Mécanique dans un langage qui serait indépendant de toutes ces conventions; on se rendrait mieux compte ainsi sans doute de ce que ces lois sont en soi; c'est ce que M. ANDRADE a tenté de faire, au moins en partie, dans ses *Leçons de Mécanique physique*.

L'énoncé de ces lois deviendrait bien entendu beaucoup plus compliqué, puisque toutes ces conventions ont été précisément imaginées pour abréger et simplifier cet énoncé.

Quant à moi, sauf en ce qui concerne l'espace absolu, je laisserai de côté toutes ces difficultés; non que je les méconnaisse, loin de là; mais je les réserve parce que je dois me borner.

J'admettrai donc *provisoirement* le temps absolu et la Géométrie euclidienne.

Le Principe d'Inertie.

Un corps qui n'est soumis à aucune force ne peut avoir qu'un mouvement rectiligne et uniforme.

Est-ce là une vérité qui s'impose *a priori* à l'esprit? S'il en était ainsi, comment les Grecs l'auraient-ils méconnue? Comment auraient-ils pu croire que le mouvement s'arrête dès que cesse la cause qui lui avait donné naissance? ou bien encore que tout corps, si rien ne vient le contrarier, prendra un mouvement circulaire, le plus noble de tous les mouvements?

Si l'on dit que la vitesse d'un corps ne peut changer, s'il

n'y a pas de raison pour qu'elle change, ne pourrait-on soutenir tout aussi bien que la position de ce corps ne peut changer, ou que la courbure de sa trajectoire ne peut changer, si une cause extérieure ne vient les modifier?

Le principe d'inertie, qui n'est pas une vérité *a priori*, est-il donc un fait expérimental? Mais a-t-on jamais expérimenté sur des corps soustraits à l'action de toute force, et si on l'a fait, comment a-t-on su que ces corps n'étaient soumis à aucune force? On cite ordinairement l'exemple d'une bille roulant un temps très long sur une table de marbre; mais pourquoi disons-nous qu'elle n'est soumise à aucune force? est-ce parce qu'elle est trop éloignée de tous les autres corps pour pouvoir en éprouver aucune action sensible? Elle n'est pas cependant plus loin de la Terre que si on la lançait librement dans l'air; et chacun sait que dans ce cas elle subirait l'influence de la pesanteur due à l'attraction de la Terre.

Les professeurs de Mécanique ont l'usage de passer rapidement sur l'exemple de la bille; mais ils ajoutent que le principe d'inertie est vérifié indirectement par ses conséquences. Ils s'expriment mal; ils veulent dire évidemment que l'on peut vérifier diverses conséquences d'un principe plus général, dont celui de l'inertie n'est qu'un cas particulier.

Je proposerai pour ce principe général l'énoncé suivant :

L'accélération d'un corps ne dépend que de la position de ce corps et des corps voisins et de leurs vitesses.

Les mathématiciens diraient que les mouvements de

toutes les molécules matérielles de l'univers dépendent d'équations différentielles du second ordre.

Pour faire comprendre que c'est bien là la généralisation naturelle de la loi d'inertie, je demanderai qu'on me permette une fiction. La loi d'inertie, je l'ai dit plus haut, ne s'impose pas à nous *a priori*; d'autres lois seraient, tout aussi bien qu'elle, compatibles avec le principe de raison suffisante. Si un corps n'est soumis à aucune force, au lieu de supposer que sa vitesse ne change pas, on pourrait supposer que c'est sa position, ou encore son accélération qui ne doit pas changer.

Eh bien, imaginons pour un instant que l'une de ces deux lois hypothétiques soit celle de la nature et remplace notre loi d'inertie. Quelle en serait la généralisation naturelle? Une minute de réflexion nous le fera voir.

Dans le premier cas, on devrait supposer que la vitesse d'un corps ne dépend que de sa position et de celle des corps voisins; dans le second cas, que la variation de l'accélération d'un corps ne dépend que de la position de ce corps et des corps voisins, de leurs vitesses et de leurs accélérations.

Ou bien, pour parler le langage mathématique, les équations différentielles du mouvement seraient du premier ordre dans le premier cas, et du troisième ordre dans le deuxième cas.

Modifions un peu notre fiction. Je suppose un monde analogue à notre système solaire, mais où, par un singulier hasard, les orbites de toutes les planètes soient sans excen-

tricité et sans inclinaison. Je suppose de plus que les masses de ces planètes soient trop faibles pour que leurs perturbations mutuelles soient sensibles. Les astronomes qui habiteraient l'une de ces planètes ne manqueraient pas de conclure que l'orbite d'un astre ne peut être que circulaire et parallèle à un certain plan ; la position d'un astre à un instant donné suffirait alors pour déterminer sa vitesse et toute sa trajectoire. La loi d'inertie qu'ils adopteraient serait la première des deux lois hypothétiques dont je viens de parler.

Imaginons maintenant que ce système vienne un jour à être traversé avec une grande vitesse par un corps de grande masse, venu de constellations lointaines. Toutes les orbites seront profondément troublées. Nos astronomes ne seraient pas encore trop étonnés ; ils devineraient bien que cet astre nouveau est seul coupable de tout le mal. Mais, diraient-ils, quand il se sera éloigné, l'ordre se rétablira de lui-même ; sans aucun doute les distances des planètes au soleil ne redeviendront pas ce qu'elles étaient avant le cataclysme, mais quand l'astre perturbateur ne sera plus là, les orbites redeviendront circulaires.

Ce serait seulement quand le corps troublant serait loin et quand cependant les orbites, au lieu de redevenir circulaires, deviendraient elliptiques, ce serait alors seulement que ces astronomes s'apercevraient de leur erreur et de la nécessité de refaire toute leur Mécanique.

J'ai un peu insisté sur ces hypothèses ; car il me semble qu'on ne peut bien comprendre ce qu'est que notre loi

d'inertie généralisée, qu'en l'opposant à une hypothèse contraire.

Eh bien maintenant, cette loi d'inertie généralisée, a-t-elle été vérifiée par l'expérience et peut-elle l'être? Quand NEWTON a écrit les *Principes*, il regardait bien cette vérité comme acquise et démontrée expérimentalement. Elle l'était à ses yeux, non seulement par l'idole anthropomorphique dont nous reparlerons, mais par les travaux de Galilée. Elle l'était aussi par les lois de Kepler elles-mêmes; d'après ces lois, en effet, la trajectoire d'une planète est entièrement déterminée par sa position et par sa vitesse initiales; c'est bien là ce qu'exige notre principe d'inertie généralisé.

Pour que ce principe ne fût vrai qu'en apparence, pour qu'on pût craindre d'avoir un jour à le remplacer par un des principes analogues que je lui opposais tout à l'heure, il faudrait que nous eussions été trompés par quelque surprenant hasard, comme celui qui, dans la fiction que je développais plus haut, avait induit en erreur nos astronomes imaginaires.

Une pareille hypothèse est trop invraisemblable pour que l'on s'y arrête. Personne ne croira qu'il puisse y avoir de tels hasards; sans doute la probabilité pour que deux excentricités soient précisément toutes deux nulles, aux erreurs près d'observation, n'est pas plus petite que la probabilité pour que l'une soit précisément égale à 0,1 par exemple et l'autre à 0,2 aux erreurs près d'observation. La probabilité d'un événement simple n'est pas plus petite que celle d'un

événement compliqué; et pourtant si le premier se produit, nous ne consentirons pas à l'attribuer au hasard; nous ne voudrions pas croire que la nature ait fait exprès de nous tromper. L'hypothèse d'une erreur de ce genre étant écartée, on peut donc admettre qu'en ce qui concerne l'Astronomie, notre loi a été vérifiée par l'expérience.

Mais l'Astronomie n'est pas la Physique tout entière.

Ne pourrait-on craindre que quelque expérience nouvelle ne vînt un jour mettre la loi en défaut dans quelque canton de la Physique? Une loi expérimentale est toujours soumise à la revision; on doit toujours s'attendre à la voir remplacée par une autre loi plus précise.

Personne cependant ne redoute sérieusement que celle dont nous parlons doive être jamais abandonnée ou amendée. Pourquoi? Précisément parce qu'on ne pourra jamais la soumettre à une épreuve décisive.

Tout d'abord, pour que cette épreuve fût complète, il faudrait qu'après un certain temps tous les corps de l'univers reviennent à leurs positions initiales avec leurs vitesses initiales. On verrait alors si, à partir de ce moment, ils reprennent les trajectoires qu'ils ont déjà suivies une fois.

Mais cette épreuve est impossible, on ne peut la faire que partiellement, et, si bien qu'on la fasse, il y aura toujours quelques corps qui ne reviendront pas à leur position initiale; ainsi toute dérogation à la loi trouvera facilement son explication.

Ce n'est pas tout : en Astronomie, nous *voyons* les corps dont nous étudions les mouvements, et nous admettons le

plus souvent qu'ils ne subissent pas l'action d'autres corps invisibles. Dans ces conditions, il faut bien que notre loi se vérifie ou ne se vérifie pas.

Mais en Physique, il n'en est pas de même : si les phénomènes physiques sont dus à des mouvements, c'est aux mouvements de molécules que nous ne voyons pas. Si alors l'accélération d'un des corps que nous voyons nous paraît dépendre d'*autre chose* que des positions ou des vitesses des autres corps visibles ou des molécules invisibles dont nous avons été amenés antérieurement à admettre l'existence, rien ne nous empêchera de supposer que cette *autre chose* est la position ou la vitesse d'autres molécules dont nous n'avions pas jusque-là soupçonné la présence. La loi se trouvera sauvegardée.

Qu'on me permette d'employer un instant le langage mathématique pour exprimer la même pensée sous une autre forme. Je suppose que nous observions n molécules et que nous constatons que leurs $3n$ coordonnées satisfont à un système de $3n$ équations différentielles du quatrième ordre (et non du deuxième ordre, comme l'exigerait la loi d'inertie). Nous savons qu'en introduisant $3n$ variables auxiliaires, un système de $3n$ équations du quatrième ordre peut être ramené à un système de $6n$ équations de deuxième ordre. Si alors nous supposons que ces $3n$ variables auxiliaires représentent les coordonnées de n molécules invisibles, le résultat est de nouveau conforme à la loi d'inertie.

En résumé, cette loi, vérifiée expérimentalement dans quelques cas particuliers, peut être étendue sans crainte aux

cas les plus généraux, parce que nous savons que dans ces cas généraux l'expérience ne peut plus ni la confirmer, ni la contredire.

La Loi de l'Accélération.

L'accélération d'un corps est égale à la force qui agit sur lui divisée par sa masse.

Cette loi peut-elle être vérifiée par l'expérience? Pour cela, il faudrait mesurer les trois grandeurs qui figurent dans l'énoncé : accélération, force et masse.

J'admets qu'on puisse mesurer l'accélération, parce que je passe sur la difficulté provenant de la mesure du temps. Mais comment mesurer la force, ou la masse? nous ne savons même pas ce que c'est.

Pour faire la vérification, il faudrait appliquer successivement une *même* force à deux corps différents, puis une autre force à ces deux mêmes corps; les quatre accélérations observées devraient être proportionnelles.

Mais on ne peut pas détacher une force d'un corps pour l'appliquer à un autre corps; les forces ne sont pas des chevaux que l'on peut détacher d'une voiture pour les atteler à une autre. Comment alors saurons-nous si deux corps sont soumis ou non à la même force?

C'est pour cela que Kirchhoff et les mécaniciens de son école regardent la loi en question, non comme un principe *a priori*, ou comme un fait d'expérience, mais tout simplement comme la définition de la force.

Dans un article que j'ai publié sous le titre *Les idées de*

*Hertz sur la Mécanique*¹, j'ai discuté cette manière de voir; j'ai cherché par tous les moyens à échapper à cette conséquence et je n'ai pu y parvenir. Je ne peux pas revenir ici sur ce que j'ai dit dans cet article, et je me borne à y renvoyer. Je n'ai à insister que sur quelques points.

La Mécanique Anthropomorphique.

Kirchhoff, dira-t-on, n'a fait qu'obéir à la tendance générale des mathématiciens au nominalisme; son habileté de physicien ne l'en a pas préservé. Il a tenu à avoir une définition de la force, et il a pris pour cela la première proposition venue; mais une définition de la force, nous n'en avons pas besoin : l'idée de force est une notion primitive, irréductible, indéfinissable; nous savons tous ce que c'est, nous en avons l'intuition directe. Cette intuition directe provient de la notion d'effort, qui nous est familière depuis l'enfance.

Mais d'abord, quand même cette intuition directe nous ferait connaître la véritable nature de la force en soi, elle serait insuffisante pour fonder la Mécanique; elle serait d'ailleurs tout à fait inutile. Ce qui importe, ce n'est pas de savoir ce que c'est que la force, c'est de savoir la mesurer.

Tout ce qui ne nous apprend pas à la mesurer est aussi inutile au mécanicien, que l'est, par exemple, la notion subjective de chaud et de froid au physicien qui étudie la

1. *Revue générale des Sciences*, 30 septembre 1897.

chaleur. Cette notion subjective ne peut se traduire en nombres, donc elle ne sert à rien; un savant dont la peau serait absolument mauvaise conductrice de la chaleur et qui, par conséquent, n'aurait jamais éprouvé ni sensations de froid, ni sensations de chaud, pourrait regarder un thermomètre tout aussi bien qu'un autre, et cela lui suffirait pour construire toute la théorie de la chaleur.

Or cette notion immédiate d'effort ne peut nous servir à mesurer la force; il est clair, par exemple, que j'éprouverai plus de fatigue en soulevant un poids de cinquante kilos qu'un homme habitué à porter des fardeaux.

Mais il y a plus : cette notion d'effort ne nous fait pas connaître la véritable nature de la force; elle se réduit en définitive à un souvenir de sensations musculaires, et on ne soutiendra pas que le Soleil éprouve une sensation musculaire quand il attire la Terre.

Tout ce qu'on peut y chercher, c'est un symbole, moins précis et moins commode que les flèches dont se servent les géomètres, mais tout aussi éloigné de la réalité.

L'Anthropomorphisme a joué un rôle historique considérable dans la genèse de la Mécanique; peut-être fournira-t-il encore quelquefois un symbole qui paraîtra commode à quelques esprits; mais il ne peut rien fonder qui ait un caractère vraiment scientifique, ou un caractère vraiment philosophique.

« *L'École du Fil.* »

M. ANDRADE, dans ses *Leçons de Mécanique Physique*, a rajeuni la Mécanique Anthropomorphique. A l'école de mécaniciens dont fait partie Kirchhoff, il oppose ce qu'il appelle assez bizarrement l'école du fil.

Cette école cherche à tout ramener à « la considération de certains systèmes matériels de masse négligeable, envisagés à l'état de tension et capables de transmettre des efforts considérables à des corps éloignés, systèmes dont le type idéal est le *fil*. »

Un fil qui transmet une force quelconque, s'allonge légèrement sous l'action de cette force; la direction du fil nous fait connaître la direction de la force, dont la grandeur est mesurée par l'allongement du fil.

On peut alors concevoir une expérience telle que celle-ci. Un corps A est attaché à un fil; à l'autre extrémité du fil on fait agir une force quelconque que l'on fait varier jusqu'à ce que le fil prenne un allongement α , on note l'accélération du corps A; on détache A et on attache le corps B au même fil, on fait agir de nouveau la force, ou une autre force, et on la fait varier jusqu'à ce que le fil reprenne l'allongement α ; on note l'accélération du corps B. On recommence l'expérience tant avec le corps A qu'avec le corps B, mais de façon que le fil prenne l'allongement β . Les quatre accélérations observées doivent être proportionnelles. On a ainsi une vérification expérimentale de la loi d'accélération énoncée plus haut.

Ou bien encore on soumet un corps à l'action simultanée de plusieurs fils identiques également tendus, et on cherche par l'expérience quelles doivent être les orientations de tous ces fils pour que le corps demeure en équilibre. On a alors une vérification expérimentale de la règle de la composition des forces.

Mais, en somme, qu'avons-nous fait? Nous avons défini la force à laquelle le fil est soumis par la déformation subie par ce fil, ce qui est assez raisonnable; nous avons admis ensuite que si un corps est attaché à ce fil, l'effort qui lui est transmis par le fil est égal à l'action que ce corps exerce sur ce fil; en définitive, nous nous sommes servis du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, en le considérant, non comme une vérité d'expérience, mais comme la définition même de la force.

Cette définition est tout aussi conventionnelle que celle de Kirchhoff, mais elle est beaucoup moins générale.

Toutes les forces ne sont pas transmises par des fils (encore faudrait-il pour qu'on pût les comparer qu'elles le fussent toutes par des fils identiques). Si l'on admettait même que la Terre est attachée au Soleil par quelque fil invisible, du moins conviendrait-on que nous n'avons aucun moyen d'en mesurer l'allongement.

Neuf fois sur dix, par conséquent, notre définition serait en défaut; on ne pourrait lui attribuer aucune espèce de sens, et il faudrait en revenir à celle de Kirchhoff.

Pourquoi alors prendre ce détour? Vous admettez une certaine définition de la force qui n'a de sens que dans

certains cas particuliers. Dans ces cas vous vérifiez par l'expérience qu'elle conduit à la loi de l'accélération. Autorisés par cette expérience, vous prenez ensuite la loi de l'accélération comme définition de la force dans tous les autres cas.

Ne serait-il pas plus simple de considérer la loi de l'accélération comme une définition dans tous les cas, et de regarder les expériences en question, non comme des vérifications de cette loi, mais comme des vérifications du principe de réaction, ou comme démontrant que les déformations d'un corps élastique ne dépendent que des forces auxquelles ce corps est soumis?

Sans compter que les conditions dans lesquelles votre définition pourrait être acceptée ne sont jamais remplies qu'imparfaitement, qu'un fil n'est jamais sans masse, qu'il n'est jamais soustrait à toute autre force que la réaction des corps attachés à ses extrémités.

Les idées de M. ANDRADE n'en sont pas moins très intéressantes; si elles ne satisfont pas notre besoin de logique, elles nous font mieux comprendre la genèse historique des notions mécaniques fondamentales. Les réflexions qu'elles nous suggèrent nous montrent comment l'esprit humain s'est élevé d'un anthropomorphisme naïf aux conceptions actuelles de la science.

Nous voyons au point de départ une expérience très particulière et en somme assez grossière; au point d'arrivée une loi tout à fait générale, tout à fait précise et dont nous regardons la certitude comme absolue. Cette certitude, c'est

nous qui la lui avons conférée pour ainsi dire librement, en la regardant comme une convention.

La loi de l'accélération, la règle de la composition des forces ne sont-elles donc que des conventions arbitraires? Conventions, oui; arbitraires, non; elles le seraient si on perdait de vue les expériences qui ont conduit les fondateurs de la science à les adopter, et qui, si imparfaites qu'elles soient, suffisent pour les justifier. Il est bon que, de temps en temps, on ramène notre attention sur l'origine expérimentale de ces conventions.

Le Principe de Réaction.

On énonce ordinairement ce principe en disant que l'action est égale à la réaction. Mais il est préférable de modifier et d'élargir cet énoncé. S'il n'y avait que des forces centrales, si, en d'autres termes, l'action d'un corps sur un corps voisin n'était jamais modifiée par la présence d'un troisième corps, nous pourrions nous y tenir sans inconvénient. Mais nous ne sommes nullement sûrs qu'il en soit ainsi dans la nature, et il vaut mieux dire :

Le centre de gravité d'un système isolé ne peut avoir qu'un mouvement rectiligne et uniforme.

J'ai montré plus haut que « l'école du fil » était amenée à faire implicitement de ce principe la définition de la force, ou une partie de cette définition.

Il est préférable, ainsi que je viens de le dire, de regarder, à l'exemple de Kirchhoff, la loi de l'accélération comme la définition de la force. Mais il reste encore à définir la masse.

C'est là sans doute une idée qu'on voudra aussi regarder comme immédiate et primitive. Tout le monde, dira-t-on, sait ce que c'est qu'une quantité de matière. Certainement non : je vois bien que dans deux grammes de plomb il y a deux fois plus de matière que dans un gramme de plomb, parce qu'on compare des matières identiques ; mais comment saurai-je que dans deux grammes d'argent il y a deux fois plus de matière que dans un gramme de plomb ?

La notion vague de quantité de matière ne suffit donc pas pour définir la masse ; il faut la remplacer par une définition plus précise ; mais cette définition devra satisfaire à une condition pour ne pas répugner à cette notion primitive et aux habitudes d'esprit qui en sont sorties. La quantité à laquelle nous donnerons le nom de masse devra être une constante.

La définition de la masse nous sera fournie précisément par le principe de réaction. Les masses devront être des coefficients choisis de telle sorte que le mouvement du centre de gravité d'un système isolé soit rectiligne et uniforme.

Cela ne veut pas dire que le principe de réaction soit purement conventionnel ; nous n'avons pas réduit ce principe à n'être qu'une simple définition, mais nous l'avons pour ainsi dire décomposé en deux parties : d'abord une proposition (axiome, postulat, ou fait d'expérience) : « Il existe des coefficients *constants* tels que le mouvement du centre de gravité (c'est-à-dire du centre des moyennes distances calculé en attribuant à chaque molécule du système

le coefficient en question) soit rectiligne et uniforme. » Et ensuite une définition de mots : « Et ces coefficients, je les appelle masses. »

Si je n'avais pas ajouté que ces coefficients doivent être *constants*, la première proposition ne serait qu'une tautologie; mais si je veux remplir cette condition, la proposition n'est plus évidente, et il faut demander à l'expérience de la vérifier.

Mais pouvons-nous faire cette vérification? Pour cela, il faudrait qu'il existât des systèmes isolés; or ces systèmes n'existent pas; le seul système isolé, c'est l'univers entier.

Mais nous ne pouvons observer que des mouvements relatifs; le mouvement absolu du centre de gravité de l'univers nous sera donc à tout jamais inconnu; nous ne pourrons jamais savoir s'il est rectiligne et uniforme, ou pour mieux dire la question n'a aucun sens.

Quels que soient les faits que nous observions, nous resterons donc toujours libres de supposer que notre principe est vrai.

A ce compte, ce principe ne serait qu'une simple convention. Mais ce n'est là qu'un des côtés de la question. Il n'y a pas de systèmes isolés, c'est vrai, mais il y a des systèmes *à peu près* isolés; on peut constater que le mouvement de leur centre de gravité est *à peu près* rectiligne et uniforme.

Prenons par exemple le système solaire; nos moyens d'observation deviendront peut-être un jour assez précis pour que l'on puisse étudier le mouvement de son centre de

gravité par rapport à celui de la Voie lactée par exemple ; on constaterait alors que ce mouvement est à peu près rectiligne et uniforme. Il le serait à peu près, parce que les étoiles les plus voisines sont très éloignées, mais il ne peut pas l'être tout à fait. Si ces étoiles n'existaient pas, le principe serait invérifiable, puisque l'on ne pourrait rapporter le mouvement à aucun repère ; mais si elles existent, elles doivent agir, si peu que ce soit, et le mouvement ne peut être qu'à peu près uniforme.

Notre principe n'est donc pas purement conventionnel : il repose au contraire sur des expériences nombreuses ; mais c'est uniquement par convention que nous lui donnons une valeur absolue.

Mais, dira-t-on, c'est ce qui arrive pour toute loi expérimentale : la vérification n'en est jamais qu'imparfaite ; seulement quand on voit qu'elle devient de plus en plus précise à mesure que les procédés d'observation se perfectionnent, on est conduit à attribuer à la loi un haut degré de probabilité.

Non, ce n'est pas la même chose. Quand il s'agit d'une loi physique ordinaire, voici ce qui arrive. Des expériences imparfaites l'ont vérifiée aussi complètement que le permettent les erreurs d'observations ; des expériences plus soignées la vérifient mieux encore. Nos ancêtres auraient conclu qu'elle est très probablement vraie en toute rigueur. Nous, qui avons moins de confiance dans la simplicité de la nature, nous conclurons plutôt qu'elle est probablement vraie à *très peu près*, et que probablement aussi elle ne

l'est pas tout à fait. Dans tous les cas nous concluons que nous pouvons agir comme si elle l'était.

Quoi qu'il en soit, une chose dont nous ne doutons pas, c'est que la loi est tout à fait vraie, ou bien qu'elle ne l'est pas. Résolue ou non, la question a un sens. Mais en ce qui concerne notre principe, il en va tout autrement. Est-il à peu près vrai pour des systèmes à peu près isolés? Cette question a un sens et l'expérience l'a résolue affirmativement. Est-il rigoureusement vrai? Cette question *n'a aucun sens*, et nous pouvons lui donner telle solution que nous voulons.

Ce principe de la réaction jouit donc d'un singulier privilège. Il est fondé sur l'expérience, et pourtant il ne pourra être renversé par l'expérience. Nous sommes certains que jamais nous ne serons conduits à l'abandonner par une expérience nouvelle, quelque précise qu'elle soit. Que nous apprendrait-elle en effet? Que pour les systèmes sur lesquels nous pouvons opérer, le principe n'est qu'à peu près vrai. Mais cela, nous le savons déjà, puisque ces systèmes ne sont qu'à peu près isolés.

Si l'on pouvait démontrer que pour ces systèmes à peu près isolés, la loi n'est même pas à peu près vraie, la convention sur laquelle repose le principe de réaction cesserait d'être commode et devrait être abandonnée. Mais contre une pareille éventualité, les expériences déjà acquises nous sont une garantie suffisante, elles sont assez précises pour cela.

Le Principe du Mouvement Relatif.

On a quelquefois cherché à rattacher la loi de l'accélération à un principe plus général. Le mouvement d'un système quelconque doit obéir aux mêmes lois, qu'on le rapporte à des axes fixes, ou à des axes mobiles entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme. C'est là le principe du mouvement relatif, qui s'impose à nous pour deux raisons : d'abord l'expérience la plus vulgaire le confirme, et ensuite l'hypothèse contraire répugnerait singulièrement à l'esprit.

Admettons-le donc, et considérons un corps soumis à une force ; le mouvement relatif de ce corps, par rapport à un observateur animé d'une vitesse uniforme égale à la vitesse initiale du corps, devra être identique à ce que serait son mouvement absolu s'il partait du repos. On en conclut que son accélération ne doit pas dépendre de sa vitesse absolue, et on cherche à tirer de là la loi d'accélération tout entière.

Il y a eu longtemps des traces de cette démonstration dans les programmes du baccalauréat ès sciences. Il est évident que cette tentative est vaine. L'obstacle qui nous empêchait de démontrer la loi d'accélération, c'est que nous n'avions pas de définition de la force ; cet obstacle subsiste tout entier, puisque le principe invoqué ne nous a pas fourni la définition qui nous manquait.

Le principe du mouvement relatif n'en est pas moins

fort intéressant et mérite d'être étudié pour lui-même. Cherchons d'abord à l'énoncer d'une façon précise.

Nous avons dit plus haut que les accélérations des différents corps qui font partie d'un système isolé ne dépendent que de leurs vitesses et de leurs positions relatives, et non de leurs vitesses et de leurs positions absolues, pourvu que les axes mobiles auxquels le mouvement relatif est rapporté soient entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme. Ou, si l'on aime mieux, leurs accélérations ne dépendent que des différences de leurs vitesses et des différences de leurs coordonnées, et non des valeurs absolues de ces vitesses et de ces coordonnées.

Si ce principe est vrai pour les accélérations relatives, ou mieux pour les différences d'accélération, en le combinant avec la loi de la réaction, on en déduira qu'il est vrai encore pour les accélérations absolues.

Il reste donc à voir comment on peut démontrer que les différences des accélérations ne dépendent que des différences des vitesses et des coordonnées, ou, pour parler le langage mathématique, que ces différences de coordonnées satisfont à des équations différentielles du second ordre.

Cette démonstration peut-elle être déduite d'expériences ou de considérations *a priori*?

En se rappelant ce que nous avons dit plus haut, le lecteur fera de lui-même la réponse.

Ainsi énoncé, en effet, le principe du mouvement relatif ressemble singulièrement à ce que j'appelais tout à l'heure le principe de l'inertie généralisé; ce n'est pas tout à fait la

même chose, puisqu'il s'agit des différences de coordonnées et non des coordonnées elles-mêmes. Le nouveau principe nous apprend donc quelque chose de plus que l'ancien, mais la même discussion s'y applique et conduirait aux mêmes conclusions; il est inutile d'y revenir.

L'Argument de Newton.

Ici nous rencontrons une question fort importante et même un peu troublante. J'ai dit que le principe du mouvement relatif n'était pas seulement pour nous un résultat d'expérience, et qu'*a priori* toute hypothèse contraire répugnerait à l'esprit.

Mais alors pourquoi le principe n'est-il vrai que si le mouvement des axes mobiles est rectiligne et uniforme? Il semble qu'il devrait s'imposer à nous avec la même force, si ce mouvement est varié, ou tout au moins s'il se réduit à une rotation uniforme. Or dans ces deux cas le principe n'est pas vrai.

Je n'insisterai pas longtemps sur le cas où le mouvement des axes est rectiligne sans être uniforme; le paradoxe ne résiste pas à un instant d'examen. Si je suis en wagon, et si le train, heurtant un obstacle quelconque, s'arrête brusquement, je serai projeté sur la banquette opposée, bien que je n'aie été soumis directement à aucune force. Il n'y a rien là de mystérieux; si je n'ai subi l'action d'aucune force extérieure, le train, lui, a éprouvé un choc extérieur. Que le mouvement relatif de deux corps se trouve troublé, dès que le mouvement de l'un ou de l'autre est modifié par une

cause extérieure, il ne peut rien y avoir là de paradoxal.

Je m'arrêterai plus longtemps sur le cas des mouvements relatifs rapportés à des axes qui tournent d'une rotation uniforme. Si le ciel était sans cesse couvert de nuages, si nous n'avions aucun moyen d'observer les astres, nous pourrions néanmoins conclure que la terre tourne; nous en serions avertis par son aplatissement, ou bien encore par l'expérience du pendule de Foucault.

Et pourtant, dans ce cas, dire que la Terre tourne, cela aurait-il un sens? S'il n'y a pas d'espace absolu, peut-on tourner sans tourner par rapport à quelque chose, et d'autre part comment pourrions-nous admettre la conclusion de NEWTON et croire à l'espace absolu?

Mais il ne suffit pas de constater que toutes les solutions possibles nous choquent également; il faut analyser, pour chacune d'elles, les raisons de notre répugnance, afin de faire notre choix en connaissance de cause. On excusera donc la longue discussion qui va suivre.

Reprenons notre fiction : d'épais nuages cachent les astres aux hommes, qui ne peuvent les observer et en ignorent même l'existence; comment ces hommes sauront-ils que la terre tourne? Plus encore que nos ancêtres sans doute, ils regarderont le sol qui les porte comme fixe et inébranlable; ils attendront bien plus longtemps l'avènement d'un Copernic. Mais enfin ce Copernic finirait par venir; comment viendrait-il?

Les Mécaniciens de ce monde ne se heurteraient pas d'abord à une contradiction absolue. Dans la théorie du

mouvement relatif, on envisage, en dehors des forces réelles, deux forces fictives que l'on appelle la force centrifuge ordinaire et la force centrifuge composée. Nos savants imaginaires pourraient donc tout expliquer en regardant ces deux forces comme réelles, et ils ne verraient pas là de contradiction avec le principe de l'inertie généralisé, car ces forces dépendraient, l'une des positions relatives des diverses parties du système, comme les attractions réelles, l'autre de leurs vitesses relatives, comme les frottements réels.

Bien des difficultés cependant ne tarderaient pas à éveiller leur attention; s'ils réussissaient à réaliser un système isolé, le centre de gravité de ce système n'aurait pas une trajectoire à peu près rectiligne. Ils pourraient invoquer, pour expliquer ce fait, les forces centrifuges qu'ils regarderaient comme réelles et qu'ils attribueraient sans doute aux actions mutuelles des corps. Seulement ils ne verraient pas ces forces s'annuler aux grandes distances, c'est-à-dire à mesure que l'isolement serait mieux réalisé; loin de là : la force centrifuge croît indéfiniment avec la distance.

Cette difficulté leur semblerait déjà assez grande; et pourtant elle ne les arrêterait pas longtemps : ils imagineraient bientôt quelque milieu très subtil, analogue à notre éther, où tous les corps baigneraient et qui exercerait sur eux une action répulsive.

Mais ce n'est pas tout. L'espace est symétrique, et pourtant les lois du mouvement ne présenteraient pas de symétrie;

elles devraient distinguer entre la droite et la gauche. On verrait par exemple que les cyclones tournent toujours dans le même sens, tandis que par raison de symétrie ces météores devraient tourner indifféremment dans un sens et dans l'autre. Si nos savants étaient parvenus à force de travail à rendre leur univers parfaitement symétrique, cette symétrie ne subsisterait pas, bien qu'il n'y ait aucune raison apparente pour qu'elle soit encore troublée dans un sens plutôt que dans l'autre.

Ils s'en tireraient sans aucun doute, ils inventeraient quelque chose qui ne serait pas plus extraordinaire que les sphères de verre de Ptolémée, et on irait ainsi, accumulant les complications, jusqu'à ce que le Copernic attendu les balaye toutes d'un seul coup, en disant : Il est bien plus simple d'admettre que la Terre tourne.

Et de même que notre Copernic à nous nous a dit : Il est plus commode de supposer que la Terre tourne, parce qu'on exprime ainsi les lois de l'Astronomie dans un langage bien plus simple; celui-là dirait : Il est plus commode de supposer que la Terre tourne, parce qu'on exprime ainsi les lois de la Mécanique dans un langage bien plus simple.

Cela n'empêche pas que l'espace absolu, c'est-à-dire le repère auquel il faudrait rapporter la Terre pour savoir si réellement elle tourne, n'a aucune existence objective. Dès lors cette affirmation : « la Terre tourne » n'a aucun sens, puisqu'aucune expérience ne permettra de la vérifier; puisqu'une telle expérience, non seulement ne pourrait être ni réalisée, ni rêvée par le Jules Verne le plus hardi, mais

ne peut être conçue sans contradiction; ou plutôt ces deux propositions : « la Terre tourne », et : « il est plus commode de supposer que la Terre tourne », ont un seul et même sens; il n'y a rien de plus dans l'une que dans l'autre.

Peut-être ne se contentera-t-on pas encore de cela, et trouvera-t-on déjà choquant que, parmi toutes les hypothèses ou plutôt toutes les conventions que nous pouvons faire à ce sujet, il y en ait une qui soit plus commode que les autres.

Mais si on l'a admis sans peine quand il s'agissait des lois de l'Astronomie, pourquoi s'en choquerait-on en ce qui concerne la Mécanique?

Nous avons vu que les coordonnées des corps sont déterminées par des équations différentielles du second ordre, et qu'il en est de même des différences de ces coordonnées. C'est ce que nous avons appelé le principe d'inertie généralisé et le principe du mouvement relatif. Si les distances de ces corps étaient déterminées de même par des équations du second ordre, il semble que l'esprit devrait être entièrement satisfait. Dans quelle mesure l'esprit reçoit-il cette satisfaction, et pourquoi ne s'en contente-t-il pas?

Pour nous en rendre compte, il vaut mieux prendre un exemple simple. Je suppose un système analogue à notre système solaire, mais d'où l'on ne puisse apercevoir des étoiles fixes étrangères à ce système, de telle façon que les astronomes ne puissent observer que les distances mutuelles des Planètes et du Soleil, et non les longitudes absolues des Planètes. Si nous déduisons directement de la loi de Newton

les équations différentielles qui définissent la variation de ces distances, ces équations ne seront pas du second ordre. Je veux dire que si, outre la loi de Newton, on connaissait les valeurs initiales de ces distances et de leurs dérivées par rapport au temps, cela ne suffirait pas pour déterminer les valeurs de ces mêmes distances à un instant ultérieur. Il manquerait encore une donnée, et cette donnée, ce pourrait être par exemple ce que les astronomes appellent la constante des aires.

Mais ici, on peut se placer à deux points de vue différents; nous pouvons distinguer deux sortes de constantes. Aux yeux du physicien, le monde se réduit à une série de phénomènes, dépendant uniquement, d'une part, des phénomènes initiaux, d'autre part, des lois qui lient les conséquents aux antécédents. Si alors l'observation nous apprend qu'une certaine quantité est une constante, nous aurons le choix entre deux manières de voir.

Ou bien nous admettrons qu'il y a une loi qui veut que cette quantité ne puisse varier, mais que c'est par hasard qu'elle s'est trouvée avoir, à l'origine des siècles, telle valeur plutôt que telle autre, valeur qu'elle a dû conserver depuis. Cette quantité pourrait alors s'appeler une constante *accidentelle*.

Ou bien nous admettrons au contraire qu'il y a une loi de la nature qui impose à cette quantité telle valeur et non pas telle autre. Nous aurons alors ce qu'on peut appeler une constante *essentielle*.

Par exemple, en vertu des lois de Newton, la durée de la

révolution de la Terre doit être constante. Mais si elle est égale à 366 jours sidéraux et quelque chose et non à 300 ou à 400, c'est par suite de je ne sais quel hasard initial. C'est une constante accidentelle. Si au contraire l'exposant de la distance qui figure dans l'expression de la force attractive, est égal à -2 et non pas à -3 , ce n'est pas par hasard, c'est parce que la loi de Newton l'exige. C'est une constante essentielle.

Je ne sais si cette manière de faire au hasard sa part est légitime en soi, et si cette distinction n'a pas quelque chose d'artificiel ; il est certain du moins que, tant que la nature aura des secrets, elle sera dans l'application fortement arbitraire et toujours précaire.

En ce qui concerne la constante des aires, nous avons coutume de la regarder comme accidentelle. Est-il certain que nos astronomes imaginaires en feraient autant ? S'ils avaient pu comparer deux systèmes solaires différents, ils auraient l'idée que cette constante peut avoir plusieurs valeurs différentes ; mais j'ai justement supposé au début que leur système apparaissait comme isolé, et qu'ils n'observaient aucun astre qui y fût étranger. Dans ces conditions, ils ne pourraient voir qu'une constante unique qui aurait une valeur unique absolument invariable ; ils seraient portés sans aucun doute à la regarder comme une constante essentielle.

Un mot en passant pour prévenir une objection : les habitants de ce monde fictif ne pourraient ni observer ni définir la constante des aires comme nous le faisons, puisque les

longitudes absolues leur échappent ; cela n'empêcherait pas qu'ils seraient rapidement amenés à remarquer une certaine constante qui s'introduirait naturellement dans leurs équations et qui ne serait autre chose que ce que nous appelons la constante des aires.

Mais alors voici ce qui va se passer. Si la constante des aires est regardée comme essentielle, comme dépendant d'une loi de la nature, il suffira, pour calculer les distances des planètes à un instant quelconque, de connaître les valeurs initiales de ces distances et celles de leurs dérivées premières. A ce point de vue nouveau, les distances seront régies par des équations différentielles du deuxième ordre.

L'esprit de ces astronomes serait-il cependant satisfait complètement ? Je ne le crois pas ; d'abord, ils s'apercevraient bientôt qu'en différentiant leurs équations, de façon à en élever l'ordre, ces équations deviennent bien plus simples. Et surtout ils seraient frappés de la difficulté qui provient de la symétrie. Il faudrait admettre des lois différentes, selon que l'ensemble des planètes présenterait la figure d'un certain polyèdre ou bien du polyèdre symétrique, et on n'échapperait à cette conséquence qu'en regardant la constante des aires comme accidentelle.

J'ai pris un exemple bien particulier, puisque j'ai supposé des astronomes qui ne s'occuperaient pas du tout de Mécanique Terrestre et dont la vue serait bornée au Système Solaire. Mais nos conclusions s'appliquent à tous les cas. Notre univers est plus étendu que le leur, puisque nous avons des étoiles fixes, mais il est cependant limité, lui

aussi, et alors nous pourrions raisonner sur l'ensemble de notre univers, comme ces astronomes sur leur système solaire.

On voit ainsi qu'en définitive on serait conduit à conclure que les équations qui définissent les distances sont d'ordre supérieur au second. Pourquoi en serions-nous choqués? Pourquoi trouvons-nous tout naturel que la suite des phénomènes dépende des valeurs initiales des dérivées premières de ces distances, tandis que nous hésitons à admettre qu'elles puissent dépendre des valeurs initiales des dérivées secondes? Ce ne peut être qu'à cause des habitudes d'esprit créées en nous par l'étude constante du principe d'inertie généralisé et de ses conséquences.

Les valeurs des distances à un instant quelconque dépendent de leurs valeurs initiales, de celles de leurs dérivées premières et encore d'autre chose. Qu'est-ce que cette *autre chose*?

Si l'on ne veut pas que ce soit tout simplement l'une des dérivées secondes, on n'a que le choix des hypothèses. Supposer, comme on le fait d'ordinaire, que cette autre chose c'est l'orientation absolue de l'univers dans l'espace, ou la rapidité avec laquelle cette orientation varie, cela peut être, cela est certainement la solution la plus commode pour le géomètre; ce n'est pas la plus satisfaisante pour le philosophe, puisque cette orientation n'existe pas.

On peut supposer que cette autre chose est la position ou la vitesse de quelque corps invisible; c'est ce qu'ont fait certaines personnes, qui l'ont même appelé le corps Alpha,

bien que nous soyons destinés à ne jamais rien savoir de ce corps que son nom. C'est là un artifice tout à fait analogue à celui dont je parlais à la fin du paragraphe consacré à mes réflexions sur le principe d'inertie.

Mais en somme la difficulté est artificielle. Pourvu que les indications futures de nos instruments ne puissent dépendre que des indications qu'ils nous ont données ou qu'ils auraient pu donner autrefois, c'est tout ce qu'il faut. Or sous ce rapport nous pouvons être tranquilles.

La Conservation de l'Énergie.

Le principe de la conservation de l'énergie et le principe de la moindre action suggéreraient des réflexions analogues. Mais cet article est déjà trop long ; je me bornerai donc à résumer rapidement ce que j'ai dit dans la préface de mon *Cours de Thermodynamique*.

Le principe de la conservation de l'énergie, ou, comme disent encore quelquefois les physiciens, le principe d'équivalence, est une des conquêtes les plus récentes et les plus précieuses de la Science ; il repose sur des expériences nombreuses, et pourtant on ne voit pas très bien comment on pourrait l'énoncer en l'érigeant en principe absolu.

Nous connaissons beaucoup de formes de l'énergie, et rien ne nous prouve qu'il n'y en ait pas beaucoup d'autres qui nous sont inconnues. Dans chaque cas particulier, on voit bien ce que c'est que l'énergie ; mais il est impossible d'en trouver une définition générale.

Si l'on veut énoncer le principe dans toute sa généralité

et en l'appliquant à tout l'univers, on le voit pour ainsi dire s'évanouir, et il ne reste plus que ceci : *Il y a quelque chose qui demeure constant.*

Mais cela même a-t-il un sens? Dans l'hypothèse déterministe qui est celle de la Science, tous les phénomènes sont régis par un nombre très grand d'équations différentielles; or on sait qu'en intégrant des équations différentielles quelconques, on trouve toujours que certaines fonctions appelées intégrales doivent être égales à des constantes.

Dès lors, si nous disons qu'*il y a quelque chose qui demeure constant*, nous ne faisons qu'énoncer une tautologie. On serait même embarrassé de dire quelle est, parmi toutes nos intégrales, celle qui doit conserver le nom d'énergie.

Ce n'est pas d'ailleurs en ce sens que l'on entend le principe d'équivalence quand on l'applique à un système limité.

On admet qu'il y ait, dans ce système, plusieurs parties qui varient indépendamment les unes des autres. Dire alors que quelque chose demeure constant, quelles que soient les variations indépendantes que ces diverses parties puissent subir, cela n'est plus une tautologie. Le principe a alors un sens bien net.

Mais comment concevoir ces variations indépendantes? Dans l'hypothèse déterministe, l'état du monde à un instant donné ne peut dépendre que de son état initial. Dès que cet état initial est donné, tout s'en déduit; il n'y a pas place pour plusieurs façons de varier, indépendantes l'une de

l'autre. Pour retrouver cette indépendance, il faut donc supposer que les états successifs du système dépendent d'autre chose que de son état initial. Mais de quoi? Ce ne peut être que de l'influence des forces extérieures au système.

Il faut donc que le système ne soit pas complètement isolé. Mais alors son énergie n'est pas constante, puisqu'il peut y avoir échange d'énergie entre le système et le monde extérieur. Il faudrait, pour que le principe conservât un sens, avoir un moyen de mesurer, ou tout au moins de définir la quantité d'énergie ainsi échangée. Dans les divers cas particuliers, on peut trouver une définition suffisante pour les besoins des physiciens; mais cette définition sera toujours imparfaite, elle ne sera jamais générale.

D'ailleurs, si le système n'est pas isolé, il est probable que l'expression rigoureusement exacte de son énergie interne dépendra de l'état des corps extérieurs, et si on peut quelquefois croire le contraire, n'est-ce pas uniquement par suite de notre ignorance, et parce que l'influence de ces corps est trop faible pour que notre expérience puisse la déceler?

Pour formuler le principe d'équivalence en lui donnant un sens absolu, il faut donc l'étendre à tout l'univers, et nous avons vu alors à quelle difficulté on se heurte.

En résumé, la loi de la conservation de l'énergie ne peut avoir qu'une signification, c'est qu'il y a une propriété commune à tous les possibles; mais dans l'hypothèse déterministe, il n'y a qu'un seul possible, et alors la loi se réduit à une tautologie ou, si l'on veut, à une définition.

Je ne veux retenir de cette discussion qu'une impression, c'est que la loi d'équivalence est une forme assez souple pour qu'on y puisse faire rentrer presque tout ce que l'on veut. Je ne veux pas dire par là qu'elle ne correspond à aucune réalité objective, puisque dans chaque cas particulier, et pourvu qu'on ne veuille pas pousser jusqu'à l'absolu, elle a un sens parfaitement clair.

Cette souplesse est une raison de croire à sa longue durée ; il est certain qu'elle restera longtemps commode, et comme d'autre part elle ne disparaîtra que pour se fondre dans une harmonie supérieure, nous pouvons travailler avec confiance en nous appuyant sur elle, certains d'avance que notre travail ne sera pas perdu.

Conclusions.

Les principes de la Mécanique se présentent donc à nous sous deux aspects différents. D'une part, ce sont des vérités fondées sur l'expérience et vérifiées d'une façon très approchée en ce qui concerne des systèmes presque isolés. D'autre part, ce sont des postulats applicables à l'ensemble de l'univers et regardés comme rigoureusement vrais.

Si ces postulats possèdent une généralité et une certitude qui faisaient défaut aux vérités expérimentales d'où ils sont tirés, c'est qu'ils se réduisent en dernière analyse à une simple convention que nous avons le droit de faire, parce que nous sommes certains d'avance qu'aucune expérience ne viendra la contredire.

Cette convention n'est pourtant pas absolument arbi-

traire; elle ne sort pas de notre caprice; nous l'adoptons parce que certaines expériences nous ont montré qu'elle serait commode.

On s'explique ainsi comment l'expérience a pu édifier les principes de la Mécanique, et pourquoi cependant elle ne pourra les renverser.

Comparons avec la Géométrie. Les propositions fondamentales de la Géométrie, comme par exemple le postulat d'Euclide, ne sont non plus que des conventions, et il est tout aussi déraisonnable de chercher si elles sont vraies ou fausses que de demander si le système métrique est vrai ou faux.

Seulement ces conventions sont commodes, et cela, ce sont certaines expériences qui nous l'apprennent.

Au premier abord, l'analogie est complète; le rôle de l'expérience semble le même. On sera donc tenté de dire : Ou bien la Mécanique doit être regardée comme une science expérimentale, et alors il doit en être de même de la Géométrie; ou bien au contraire la Géométrie est une science déductive, et alors on peut en dire autant de la Mécanique.

Une pareille conclusion serait illégitime. Les expériences qui nous ont conduits à adopter comme plus commodes les conventions fondamentales de la Géométrie portent sur des objets qui n'ont rien de commun avec ceux qu'étudie la Géométrie; elles portent sur les propriétés des corps solides, sur la propagation rectiligne de la lumière. Ce sont des expériences de Mécanique, des expériences d'Optique; on ne peut à aucun titre les regarder comme des expériences

de Géométrie. Et même la principale raison pour laquelle notre Géométrie nous semble commode, c'est que les différentes parties de notre corps, notre œil, nos membres, jouissent précisément des propriétés des corps solides. A ce compte, nos expériences fondamentales sont avant tout des expériences de Physiologie, qui portent, non sur l'espace qui est l'objet que doit étudier le géomètre, mais sur son corps, c'est-à-dire sur l'instrument dont il doit se servir pour cette étude.

Au contraire, les conventions fondamentales de la Mécanique et les expériences qui nous démontrent qu'elles sont commodes portent bien sur les mêmes objets ou sur des objets analogues. Les principes conventionnels et généraux sont la généralisation naturelle et directe des principes expérimentaux et particuliers.

Qu'on ne dise pas que je trace ainsi des frontières artificielles entre les sciences; que si je sépare par une barrière la Géométrie proprement dite de l'étude des corps solides, je pourrais tout aussi bien en élever une entre la Mécanique Expérimentale et la Mécanique Conventionnelle des principes généraux. Qui ne voit en effet qu'en séparant ces deux sciences je les mutile l'une et l'autre, et que ce qui restera de la Mécanique Conventionnelle quand elle sera isolée ne sera que bien peu de chose, et ne pourra nullement être comparé à ce superbe corps de doctrine que l'on appelle Géométrie?

On comprend maintenant pourquoi l'enseignement de la Mécanique doit rester expérimental.

C'est ainsi seulement qu'il pourra nous faire comprendre la genèse de la science, et cela est indispensable pour l'intelligence complète de la science elle-même.

D'ailleurs, si on étudie la Mécanique, c'est pour l'appliquer; et on ne peut l'appliquer que si elle reste objective. Or, ainsi que nous l'avons vu, ce que les principes gagnent en généralité et en certitude, ils le perdent en objectivité. C'est donc surtout avec le côté objectif des principes qu'il convient de se familiariser de bonne heure, et on ne peut le faire qu'en allant du particulier au général, au lieu de suivre la marche inverse.

III

Logique

et

Histoire des Sciences



PARIS

Librairie Armand Colin

5, rue de Mézières, 5

1901

Tous droits réservés.

