L'ÉTAT ACTUEL ET L'AVENIR DE LA
PHYSIQUE MATHÉMATIQUE :

PAR M. HENRI POINCARÉ.

LUE LE 24 SEPTEMBRE 1904 AU CONGRÈS D'ART
ET DE SCIENCE DE SAINT-LOUIS.

Bull. des Sciences mathém., 2^e série. t. XXVIII.
(Décembre 1904.)

Quel est l'état actuel de la Physique mathématique ? Quels sont les problèmes qu'elle est amenée à se poser ? Quel est son avenir ? Son orientation est-elle sur le point de se modifier ? Le but et les méthodes de cette Science vont-ils apparaître dans dix ans à nos successeurs immédiats sous le même jour qu'à nous-mêmes ; ou au contraire allons-nous assister à une transformation profonde ? Telles sont les questions que nous sommes forcés de soulever, en abordant aujourd'hui notre enquête.

S'il est facile de les poser, il est difficile d'y répondre. Si nous nous sentions tentés de risquer un pronostic, nous résisterions aisément à cette tentation en songeant à toutes les sottises qu'auraient dites les savants les plus éminents d'il y a cent ans, si on leur avait demandé ce que serait la Science au *XIX^e* siècle. Ils auraient cru être hardis dans leurs prédictions, et combien, après l'événement, nous les trouverions timides. N'attendez donc de moi aucune prophétie.

Mais si, comme tous les médecins prudents, je répugne à donner un pronostic, je ne puis pourtant me dispenser d'un petit diagnostic ; eh bien, oui, il y a des indices d'une crise sérieuse, comme si nous devons nous attendre à une transformation prochaine. Ne soyons pas toutefois trop inquiets. Nous sommes assurés que la malade n'en mourra pas et même nous pouvons espérer que cette crise sera salutaire, car l'histoire du passé semble nous le garantir. Cette crise, en effet, n'est pas la première et il importe, pour la comprendre, de se rappeler celles qui l'ont précédée. Pardonnez-moi un court historique.

La Physique mathématique, nous le savons, est née de la Mécanique céleste qui l'a engendrée à la fin du *XVIII^e* siècle, au moment où elle venait elle-même d'atteindre son complet développement. Dans ses premières années surtout, l'enfant ressemblait à sa mère d'une manière frappante.

L'Univers astronomique est formé de masses, très grandes sans doute, mais séparées par des distances tellement immenses qu'elles

ne nous apparaissent que comme des points matériels ; ces points s'attirent en raison inverse du carré des distances et cette attraction est la seule force qui influe sur leurs mouvements. Mais si nos sens étaient assez subtils pour nous montrer tous les détails des corps qu'étudie le physicien, le spectacle que nous y découvririons différerait à peine de celui que contemple l'astronome. Là aussi nous verrions des points matériels séparés les uns des autres par des intervalles énormes par rapport à leurs dimensions et décrivant des orbites suivant des lois régulières. Ces astres infiniment petits, ce sont les atomes. Comme les astres proprement dits, ils s'attirent ou se repoussent, et cette attraction ou cette répulsion, dirigée suivant la droite qui les joint, ne dépend que de la distance. La loi suivant laquelle cette force varie en fonction de la distance n'est peut-être pas la loi de Newton, mais c'est une loi analogue ; au lieu de l'exposant -2 , nous avons probablement un exposant différent, et c'est de ce changement d'exposant que sort toute la diversité des phénomènes physiques, la variété des qualités et des sensations, tout le monde coloré et sonore qui nous entoure, toute la Nature en un mot.

Telle est la conception primitive dans toute sa pureté. Il ne reste plus qu'à chercher dans les différents cas quelle valeur il convient de donner à cet exposant afin de rendre compte de tous les faits. C'est sur ce modèle que Laplace, par exemple, a construit sa belle théorie de la Capillarité ; il ne la regarde que comme un cas particulier de l'attraction ou, comme il dit, de la pesanteur universelle, et personne ne s'étonne de la trouver au milieu de l'un des cinq volumes de la Mécanique céleste. Plus récemment, Briot croit avoir pénétré le dernier secret de l'Optique quand il a démontré que les atomes d'éther s'attirent en raison inverse de la sixième puissance de la distance ; et Maxwell, Maxwell lui-même, ne dit-il pas quelque part que les atomes de gaz se repoussent en raison inverse de la cinquième puissance de la distance. Nous avons l'exposant -6 , ou -5 , au lieu de l'exposant -2 , mais c'est

toujours un exposant.

Parmi les théories de cette époque, une seule fait exception, celle de Fourier ; il y a bien des atomes, agissant à distance l'un sur l'autre ; ils s'envoient mutuellement de la chaleur, mais ils ne s'attirent pas, ils ne bougent pas. A ce point de vue, la théorie de Fourier devait apparaître aux yeux de ses contemporains, à ceux de Fourier lui-même, comme imparfaite et provisoire.

Cette conception n'était pas sans grandeur ; elle était séduisante, et beaucoup d'entre nous n'y ont pas définitivement renoncé ; ils savent qu'on n'atteindra les éléments ultimes des choses qu'en débrouillant patiemment l'écheveau compliqué que nous donnent nos sens ; qu'il faut avancer pas à pas en ne négligeant aucun intermédiaire, que nos pères ont eu tort de vouloir brûler les étapes, mais ils croient que, quand on arrivera à ces éléments ultimes, on y retrouvera la simplicité majestueuse de la Mécanique céleste.

Cette conception n'a pas non plus été inutile ; elle nous a rendu un service inappréciable, puisqu'elle a contribué à préciser en nous la notion fondamentale de la loi physique. Je m'explique : comment les anciens comprenaient-ils la Loi ? C'était pour eux une harmonie interne, statique pour ainsi dire et immuable ; ou bien c'était comme un modèle que la nature s'efforçait d'imiter. Une loi, pour nous, ce n'est plus cela du tout ; c'est une relation constante entre le phénomène d'aujourd'hui et celui de demain ; en un mot, c'est une équation différentielle.

Voilà la forme idéale de la loi physique ; eh bien, c'est la loi de Newton qui l'a revêtue la première. Si ensuite on a acclimaté cette forme en Physique, c'est précisément en copiant autant que possible cette loi de Newton, c'est en imitant la Mécanique céleste.

Néanmoins, il est arrivé un jour où la conception des forces centrales n'a plus paru suffisante, et c'est la première de ces crises dont je vous parlais tout à l'heure.

Que fit-on alors ? On renonça à pénétrer dans le détail de la structure de l'Univers, à isoler les pièces de ce vaste mécanisme,

à analyser une à une les forces qui les mettent en branle et l'on se contenta de prendre pour guides certains principes généraux qui ont précisément pour objet de nous dispenser de cette étude minutieuse. Comment cela ? Supposons que nous avons en face de nous une machine quelconque ; le rouage initial et le rouage final sont seuls apparents, mais les transmissions, les rouages intermédiaires par lesquels le mouvement se communique de l'un à l'autre sont cachés à l'intérieur et échappent à notre vue ; nous ignorons si la communication se fait par des engrenages ou par des courroies, par des bielles ou par d'autres dispositifs. Disons-nous qu'il nous est impossible de rien comprendre à cette machine tant qu'on ne nous permettra pas de la démonter ? Vous savez bien que non et que le principe de la conservation de l'énergie suffit pour nous fixer sur le point le plus intéressant ; nous constatons aisément que la roue finale tourne dix fois moins vite que la roue initiale, puisque ces deux roues sont visibles ; nous pouvons en conclure qu'un couple appliqué à la première fera équilibre à un couple dix fois plus grand appliqué à la seconde. Point n'est besoin pour cela de pénétrer le mécanisme de cet équilibre et de savoir comment les forces se compenseront à l'intérieur de la machine ; c'est assez de s'assurer que cette compensation ne peut pas ne pas se produire.

Eh bien, en présence de l'Univers, le principe de la conservation de l'énergie peut nous rendre le même service. C'est aussi une machine, beaucoup plus compliquée que toutes celles de l'industrie, et dont presque toutes les parties nous sont profondément cachées ; mais, en observant le mouvement de celles que nous pouvons voir, nous pouvons, en nous aidant de ce principe, tirer des conclusions qui resteront vraies quels que soient les détails du mécanisme invisible qui les anime.

Le principe de la conservation de l'énergie, ou principe de Mayer, est certainement le plus important, mais ce n'est pas le seul, il y en a d'autres dont nous pouvons tirer le même parti. Ce sont :

Le principe de Carnot, ou principe de la dégradation de l'éner-

gie.

Le principe de Newton, ou principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Le principe de la relativité, d'après lequel les lois des phénomènes physiques doivent être les mêmes, soit pour un observateur fixe, soit pour un observateur entraîné dans un mouvement de translation uniforme; de sorte que nous n'avons et ne pouvons avoir aucun moyen de discerner si nous sommes, oui ou non, emportés dans un pareil mouvement.

Le principe de la conservation de la masse, ou principe de Lavoisier.

J'ajouterai le principe de moindre action.

L'application de ces cinq ou six principes généraux aux différents phénomènes physiques suffit pour nous en apprendre ce que nous pouvons raisonnablement espérer en connaître. Le plus remarquable exemple de cette nouvelle Physique mathématique est sans contredit la théorie électromagnétique de la Lumière de Maxwell. Qu'est-ce que l'éther, comment sont disposées ses molécules, s'attirent-elles ou se repoussent-elles? nous n'en savons rien; mais nous savons que ce milieu transmet à la fois les perturbations optiques et les perturbations électriques; nous savons que cette transmission doit se faire conformément aux principes généraux de la Mécanique et cela nous suffit pour établir les équations du champ électromagnétique.

Ces principes sont des résultats d'expériences fortement généralisés; mais ils semblent emprunter à leur généralité même un degré éminent de certitude. Plus ils sont généraux, en effet, plus on a fréquemment l'occasion de les contrôler et les vérifications, en se multipliant, en prenant les formes les plus variées et les plus inattendues, finissent par ne plus laisser de place au doute.

Telle est la seconde phase de l'histoire de la Physique mathématique et nous n'en sommes pas encore sortis. Dirons-nous que la première a été inutile, que pendant cinquante ans la Science

avait fait fausse route et qu'il n'y a plus qu'à oublier tant d'efforts accumulés qu'une conception vicieuse condamnait d'avance à l'insuccès ? Pas le moins du monde. Croyez-vous que la seconde phase aurait pu exister sans la première ? L'hypothèse des forces centrales contenait tous les principes ; elle les entraînait comme des conséquences nécessaires ; elle entraînait et la conservation de l'énergie, et celle des masses, et l'égalité de l'action et de la réaction, et la loi de moindre action, qui apparaissaient, il est vrai, non comme des vérités expérimentales, mais comme des théorèmes ; et dont l'énoncé avait en même temps je ne sais quoi de plus précis et de moins général que sous leur l'orme actuelle.

C'est la Physique mathématique de nos pères qui nous a familiarisés peu à peu avec ces divers principes, qui nous a habitués à les reconnaître sous les différents vêtements dont ils se déguisent. On les a comparés aux données de l'expérience, on a vu comment il fallait en modifier l'énoncé pour les adapter à ces données ; par là on les a élargis et consolidés. On a été conduit ainsi à les regarder comme des vérités expérimentales ; la conception des forces centrales devenait alors un soutien inutile, ou plutôt une gêne, puisqu'elle faisait participer les principes de son caractère hypothétique.

Les cadres ne sont donc pas brisés, parce qu'ils étaient élastiques ; mais ils se sont élargis ; nos pères, qui les avaient établis, n'avaient pas travaillé en vain ; et nous reconnaissons dans la Science d'aujourd'hui les traits généraux de l'esquisse qu'ils avaient tracée.

Allons-nous entrer maintenant dans une troisième phase ? Sommes-nous à la veille d'une seconde crise ? Ces principes sur lesquels nous avons tout bâti vont-ils s'écrouler à leur tour ? Depuis quelque temps, on peut se le demander.

En m'entendant parler ainsi, vous pensez sans doute au radium, ce grand révolutionnaire des temps présents, et, en effet, je vais y revenir tout à l'heure ; mais il y a autre chose ; ce n'est pas

seulement la conservation de l'énergie qui est en cause ; tous les autres principes sont également en danger, comme nous allons le voir en les passant successivement en revue.

Commençons par le principe de Carnot. C'est le seul qui ne se présente pas comme une conséquence immédiate de l'hypothèse des forces centrales ; bien mieux, il semble sinon contredire directement cette hypothèse, du moins ne pas se concilier avec elle sans un certain effort. Si les phénomènes physiques étaient dus exclusivement aux mouvements d'atomes dont les attractions mutuelles ne dépendraient que de la distance, il semble que tous ces phénomènes devraient être réversibles ; si toutes les vitesses initiales étaient renversées, ces atomes toujours soumis aux mêmes forces devraient parcourir leurs trajectoires en sens contraire, de même que la Terre décrirait dans le sens rétrograde cette même orbite elliptique qu'elle décrit dans le sens direct, si les conditions initiales de son mouvement avaient été renversées. A ce compte, si un phénomène physique est possible, le phénomène inverse doit l'être également et l'on doit pouvoir remonter le cours du temps. Or, il n'en est pas ainsi dans la Nature, et c'est précisément ce que le principe de Carnot nous enseigne, la chaleur peut passer du corps chaud sur le corps froid, et il est impossible ensuite de lui faire reprendre le chemin inverse et de rétablir des différences de température qui se sont effacées. Le mouvement peut être intégralement dissipé et transformé en chaleur par le frottement ; la transformation contraire ne pourra jamais se faire que d'une manière partielle.

On s'est efforcé de concilier cette apparente contradiction. Si le monde tend vers l'uniformité, ce n'est pas parce que ses parties ultimes, d'abord dissemblables, tendent à devenir de moins en moins différentes, c'est parce que, se déplaçant au hasard, elles finissent par se mélanger. Pour un œil qui distinguerait tous les éléments, la variété resterait toujours aussi grande ; chaque grain de cette poussière conserve son originalité et ne se modèle pas

sur ses voisins ; mais, comme le mélange devient de plus en plus intime, nos sens grossiers n'aperçoivent plus que l'uniformité. Voilà pourquoi, par exemple, les températures tendent à se niveler sans qu'il soit possible de revenir en arrière.

Qu'une goutte de vin tombe dans un verre d'eau : quelle que soit la loi du mouvement interne du liquide, nous le verrons bientôt se colorer d'une teinte rosée uniforme et, à partir de ce moment, on aura beau agiter le vase, le vin et l'eau ne paraîtront plus pouvoir se séparer. Ainsi voici quel serait le type du phénomène physique irréversible : cacher un grain d'orge dans un tas de blé, c'est facile ; l'y retrouver ensuite et l'en faire sortir, c'est pratiquement impossible. Tout cela, Maxwell et Boltzmann l'ont expliqué, mais celui qui l'a vu le plus nettement, dans un livre trop peu lu parce qu'il est un peu difficile à lire, c'est Gibbs, dans ses principes élémentaires de Mécanique statique.

Pour ceux qui se placent à ce point de vue, le principe de Carnot n'est qu'un principe imparfait, une sorte de concession à l'infirmité de nos sens ; c'est parce que nos jeux sont trop grossiers que nous ne distinguons pas les éléments du mélange ; c'est parce que nos mains sont trop grossières que nous ne savons pas les forcer à se séparer ; le démon imaginaire de Maxwell, qui peut trier les molécules une à une, saurait bien contraindre le monde à revenir en arrière. Y peut-il revenir de lui-même, cela n'est pas impossible, cela n'est qu'infinitement peu probable ; il y a des chances pour que nous attendions longtemps le concours des circonstances qui permettraient une rétrogradation ; mais, tôt ou tard, elles se réaliseront, après des années dont il faudrait des millions de chiffres pour écrire le nombre. Ces réserves, cependant, restaient toutes théoriques elles n'étaient pas bien inquiétantes et le principe de Carnot conservait toute sa valeur pratique. Mais voici que la scène change. Le biologiste, armé de son microscope, a remarqué il y a longtemps dans ses préparations des mouvements désordonnés des petites particules en suspension ; c'est le mouvement brownien. Il

a cru d'abord que c'était un phénomène vital, mais il a vu bientôt que les corps inanimés ne dansaient pas avec moins d'ardeur que les autres ; il a alors passé la main aux physiciens. Malheureusement, les physiciens se sont longtemps désintéressés de cette question ; on concentre de la lumière pour éclairer la préparation microscopique, pensaient-ils ; la lumière ne va pas sans chaleur, de là des inégalités de température et dans le liquide des courants intérieurs qui produisent les mouvements dont on nous parle.

M. Gouy eut l'idée d'y regarder de plus près et il vit, ou crut voir, que cette explication est insoutenable, que les mouvements deviennent d'autant plus vifs que les particules sont plus petites, mais qu'ils ne sont pas influencés par le mode d'éclairage. Si alors ces mouvements ne cessent pas, ou plutôt renaissent sans cesse, sans rien emprunter à une source extérieure d'énergie, que devons-nous croire ? Nous ne devons pas, sans doute, renoncer pour cela à la conservation de l'énergie, mais nous voyons sous nos yeux tantôt le mouvement se transformer en chaleur par le frottement, tantôt la chaleur se changer inversement en mouvement, et cela sans que rien ne se perde, puisque le mouvement dure toujours. C'est le contraire du principe de Carnot. S'il en est ainsi, pour voir le monde revenir en arrière, nous n'avons plus besoin de l'œil infiniment subtil du démon de Maxwell, notre microscope nous suffit. Les corps trop gros, ceux qui ont, par exemple, un dixième de millimètre, sont heurtés de tous les côtés par les atomes en mouvement, mais ils ne bougent pas parce que ces chocs sont très nombreux et que la loi du hasard veut qu'ils se compensent ; mais les particules plus petites reçoivent trop peu de chocs pour que celle compensation se fasse à coup sûr et sont incessamment ballottées. Et voilà déjà l'un de nos principes en péril.

Venons au principe de la relativité ; celui-là non seulement est confirmé par l'expérience quotidienne, non seulement il est une conséquence nécessaire de l'hypothèse des forces centrales, mais il s'impose à notre bon sens d'une façon irrésistible ; et pourtant lui

aussi est battu en brèche. Supposons deux corps électrisés ; bien qu'ils nous semblent en repos, ils sont l'un et l'autre entraînés par le mouvement de la Terre ; une charge électrique en mouvement, Rowland nous l'a appris, équivaut à un courant : ces deux corps chargés équivaldront donc à deux courants parallèles et de même sens et ces deux courants devront s'attirer. En mesurant cette attraction, nous mesurerons la vitesse de la Terre ; non pas sa vitesse par rapport au Soleil ou aux étoiles fixes, mais sa vitesse absolue.

Je sais bien ce qu'on va dire, ce n'est pas sa vitesse absolue que l'on mesure, c'est sa vitesse par rapport à l'éther. Que cela est peu satisfaisant ! Ne voit-on pas que du principe ainsi compris on ne pourra plus rien tirer ? Il ne pourrait plus rien nous apprendre justement parce qu'il ne craindrait plus aucun démenti. Si nous parvenons à mesurer quelque chose, nous serons toujours libres de dire que ce n'est pas la vitesse absolue, et si ce n'est pas la vitesse par rapport à l'éther, cela pourra toujours être la vitesse par rapport à quelque nouveau fluide inconnu dont nous remplirions l'espace.

Aussi bien l'expérience s'est chargée de ruiner cette interprétation du principe de relativité ; toutes les tentatives pour mesurer la vitesse de la Terre par rapport à l'éther ont abouti à des résultats négatifs. Cette fois la Physique expérimentale a été plus fidèle au principe que la Physique mathématique ; les théoriciens en auraient fuit bon marché afin de mettre en concordance les autres vues générales ; mais l'expérience s'est obstinée à le confirmer. On a varié les moyens, enfin Michelson a poussé la précision jusque à ses dernières limites ; rien n'y a fait. C'est précisément pour expliquer cette obstination que les mathématiciens sont forcés aujourd'hui de déployer toute leur ingéniosité.

Leur tâche n'était pas facile, et si Lorentz s'en est tiré, ce n'est qu'en accumulant les hypothèses.

L'idée la plus ingénieuse a été celle du temps local. Imaginons deux observateurs qui veulent régler leurs montres par des signaux

optiques ; ils échangent des signaux, mais, comme ils savent que la transmission de la lumière n'est pas instantanée, ils prennent soin de les croiser. Quand la station B aperçoit le signal de la station A, son horloge ne doit pas marquer la même heure que celle de la station A au moment de l'émission du signal, mais cette heure augmentée d'une constante représentant la durée de la transmission. Supposons, par exemple, que la station A envoie son signal quand son horloge marque l'heure zéro, et que la station B l'aperçoive quand son horloge marque l'heure t . Les horloges sont réglées si le retard égal à t représente la durée de la transmission, et pour le vérifier la station B expédie à son tour un signal quand son horloge marque zéro, la station A doit alors l'apercevoir quand son horloge marque t . Les montres sont alors réglées.

Et, en effet, elles marquent la même heure au même instant physique, mais à une condition, c'est que les deux stations soient fixes. Dans le cas contraire, la durée de la transmission ne sera pas la même dans les deux sens, puisque la station A, par exemple, marche au devant de la perturbation optique émanée de B, tandis que la station B fuit devant la perturbation émanée de A. Les montres réglées de la sorte ne marqueront donc pas le temps vrai, elles marqueront ce qu'on peut appeler le temps local, de sorte que l'une d'elles retardera sur l'autre. Peu importe, puisque nous n'avons aucun moyen de nous en apercevoir. Tous les phénomènes qui se produiront en A, par exemple, seront en retard, mais tous le seront également, et l'observateur ne s'en apercevra pas puisque sa montre retarde ; ainsi, comme le veut le principe de relativité, il n'aura aucun moyen de savoir s'il est en repos ou en mouvement absolu.

Cela malheureusement ne suffit pas, et il faut des hypothèses complémentaires ; il faut admettre que les corps en mouvement subissent une contraction uniforme dans le sens du mouvement. L'un des diamètres de la Terre, par exemple, est raccourci de $\frac{1}{200000000}$ par suite du mouvement de notre planète, tandis que

l'autre diamètre conserve sa longueur normale. Ainsi se trouvent compensées les dernières petites différences. Et puis il y a encore l'hypothèse sur les forces. Les forces, quelle que soit leur origine, la pesanteur comme l'élasticité, seraient réduites dans une certaine proportion, dans un monde animé d'une translation uniforme, ou plutôt c'est ce qui arriverait pour les composantes perpendiculaires à la translation ; les composantes parallèles ne changeraient pas. Reprenons alors notre exemple de deux corps électrisés ; ces corps se repoussent, mais en même temps, si tout est entraîné dans une translation uniforme, ils équivalent à deux courants parallèles et de même sens qui s'attirent.

Cette attraction électrodynamique se retranche donc de la répulsion électrostatique et la répulsion totale est plus faible que si les deux corps étaient en repos. Mais comme, pour mesurer cette répulsion, nous devons l'équilibrer par une autre force, et que toutes ces autres forces sont réduites dans la même proportion, nous ne nous apercevons de rien. Tout semble ainsi arrangé, mais tous les doutes sont-ils dissipés ? Qu'arriverait-il si l'on pouvait communiquer par des signaux qui ne seraient plus lumineux et dont la vitesse de propagation différerait de celle de la lumière ? Si, après avoir réglé les montres par le procédé optique, on voulait vérifier le réglage à l'aide de ces nouveaux signaux, on constaterait des divergences qui mettraient en évidence la translation commune des deux stations. Et de pareils signaux sont-ils inconcevables, si l'on admet avec Laplace que la gravitation universelle se transmet un million de fois plus vite que la lumière ?

Ainsi le principe de la relativité a été dans ces derniers temps vaillamment défendu, mais l'énergie même de la défense prouve combien l'attaque était sérieuse.

Parlons maintenant du principe de Newton, sur l'égalité de l'action et de la réaction. Celui-ci est intimement lié au précédent et il semble bien que la chute de l'un entraînerait celle de l'autre. Aussi ne devons-nous pas nous étonner de retrouver ici les mêmes

difficultés.

Les phénomènes électriques, pense-t-on, sont dus aux déplacements de petites particules chargées appelées *électrons* et plongées dans le milieu que nous nommons *éther*. Les mouvements de ces électrons produisent des perturbations dans l'éther avoisinant ; ces perturbations se propagent dans tous les sens avec la vitesse de la lumière, et à leur tour d'autres électrons, primitivement en repos, se trouvent ébranlés quand la perturbation atteint les parties de l'éther qui les touchent. Les électrons agissent donc les uns sur les autres, mais cette action n'est pas directe, elle se fait par l'intermédiaire de l'éther. Dans ces conditions peut-il y avoir compensation entre l'action et la réaction, du moins pour un observateur qui ne tiendrait compte que des mouvements de la matière, c'est-à-dire des électrons, et qui ignorerait ceux de l'éther qu'il ne peut pas voir ? Évidemment non. Quand même la compensation serait exacte elle ne saurait être simultanée. La perturbation se propage avec une vitesse finie ; elle n'atteint donc le second électron que quand le premier est depuis longtemps rentré dans le repos. Ce second électron subira donc, avec un retard, l'action du premier, mais certainement à ce moment il ne réagira pas sur lui puisque autour de ce premier électron rien ne bouge plus.

L'analyse des faits va nous permettre de préciser davantage. Imaginons, par exemple, un excitateur de Hertz comme ceux que l'on emploie en télégraphie sans fil ; il envoie de l'énergie dans tous les sens ; mais nous pouvons le munir d'un miroir parabolique, comme l'a fait Hertz avec ses plus petits excitateurs, afin de renvoyer toute l'énergie produite dans une seule direction. Qu'arrive-t-il alors, d'après la théorie ? c'est que l'appareil va reculer, comme s'il était un canon et si l'énergie qu'il a projetée était un boulet, et cela est contraire au principe de Newton, puisque notre projectile ici n'a pas de masse, ce n'est pas de la matière, c'est de l'énergie. Il en est encore de même d'ailleurs avec un phare pourvu d'un réflecteur, puisque la lumière n'est autre chose qu'une perturbation

du champ électromagnétique. Ce phare devra reculer comme si la lumière qu'il envoie était un projectile. Quelle est la force qui doit produire ce recul? c'est ce qu'on a appelé là *pression Maxwell-Bartholdi*; elle est très petite et l'on a eu bien du mal à la mettre en évidence avec les radiomètres les plus sensibles; mais il suffit qu'elle existe.

Si toute l'énergie issue de notre excitateur va tomber sur un récepteur, celui-ci se comportera comme s'il avait reçu un choc mécanique, qui représentera en un sens la compensation du recul de l'excitateur; la réaction sera égale à l'action, mais elle ne sera pas simultanée, le récepteur avancera, mais pas au moment où l'excitateur reculera. Si l'énergie se propage indéfiniment sans rencontrer de récepteur, la compensation ne se fera jamais.

Dira-t-on que l'espace qui sépare l'excitateur du récepteur et que la perturbation doit parcourir pour aller de l'un à l'autre n'est pas vide, qu'il est rempli, non seulement d'éther, mais d'air, ou même, dans les espaces interplanétaires, de quelque fluide subtil, mais encore pondérable; que cette matière subit le choc comme le récepteur au moment où l'énergie l'atteint et recule à son tour quand la perturbation la quitte? Cela sauverait le principe de Newton, mais cela n'est pas vrai; si l'énergie en se propageant restait toujours attachée à quelque substratum matériel, la matière en mouvement entraînerait la lumière avec elle et Fizeau a démontré qu'il n'en est rien, au moins pour l'air. C'est ce que Michelson et Morley ont confirmé depuis. On peut supposer aussi que les mouvements de la matière proprement dite sont exactement compensés par ceux de l'éther, mais cela nous amènerait aux mêmes réflexions que tout à l'heure. Le principe ainsi entendu pourra tout expliquer, puisque, quels que soient les mouvements visibles, on aura toujours la faculté d'imaginer des mouvements hypothétiques qui les compensent. Mais, s'il peut tout expliquer, c'est qu'il ne nous permet de rien prévoir, il ne nous permet pas de choisir entre les différentes hypothèses possibles, puisqu'il explique

tout d'avance. Il devient donc inutile.

Et puis les suppositions qu'il faudrait faire sur les mouvements de l'éther ne sont pas très satisfaisantes. Si les charges électriques doublent, il serait naturel d'imaginer que les vitesses des divers atomes d'éther doublent aussi et, pour la compensation, il faut que la vitesse moyenne de l'éther quadruple.

C'est pourquoi j'ai longtemps pensé que ces conséquences de la théorie, contraires au principe de Newton, finiraient un jour par être abandonnées et pourtant les expériences récentes sur les mouvements des électrons issus du radium semblent plutôt les confirmer.

J'arrive au principe de Lavoisier sur la conservation des masses. Certes, c'en est un auquel on ne saurait toucher sans ébranler la Mécanique. Et maintenant certaines personnes pensent qu'il ne nous paraît vrai que parce qu'on ne considère en Mécanique que (les vitesses modérées, mais qu'il cesserait de l'être pour des corps animés de vitesses comparables à celle de la lumière. Or, ces vitesses, on croit maintenant les avoir réalisées ; les rayons cathodiques et ceux du radium seraient formés de particules très petites ou d'électrons qui se déplaceraient avec des vitesses, plus petites sans doute que celle de la lumière, mais qui en seraient le dixième ou le tiers.

Ces rayons peuvent être déviés soit par un champ électrique, soit par un champ magnétique et l'on peut, en comparant ces déviations, mesurer à la fois la vitesse des électrons et leur masse (ou plutôt le rapport de leur masse à leur charge). Mais, quand on a vu que ces vitesses se rapprochaient de celle de la lumière, on s'est avisé qu'une correction était nécessaire. Ces molécules, étant électrisées, ne peuvent se déplacer sans ébranler l'éther ; pour les mettre en mouvement, il faut triompher d'une double inertie, de celle de la molécule elle-même et de celle de l'éther. La masse totale ou apparente que l'on mesure se compose donc de deux parties : la masse réelle ou mécanique de la molécule, et la masse

électro-dynamique représentant l'inertie de l'éther.

Les calculs d'Abraham et les expériences de Kauffmann ont alors montré que la masse mécanique proprement dite est nulle et que la masse des électrons, ou au moins des électrons négatifs, est d'origine exclusivement électro-dynamique. Voilà qui nous force à changer la définition de la masse ; nous ne pouvons plus distinguer la masse mécanique et la masse électro-dynamique, parce qu'alors la première s'évanouirait ; il n'y a pas d'autre masse que l'inertie électro-dynamique ; mais dans ce cas la masse ne peut plus être constante, elle augmente avec la vitesse ; et même, elle dépend de la direction, et un corps animé d'une vitesse notable n'opposera pas la même inertie aux forces qui tendent à le dévier de sa route, et à celles qui tendent à accélérer ou à retarder sa marche.

Il y a bien encore une ressource : les éléments ultimes des corps sont des électrons, les uns chargés négativement, les autres chargés positivement. Les électrons négatifs n'ont pas de masse, c'est entendu ; mais les électrons positifs, d'après le peu qu'on en sait, semblent beaucoup plus gros. Peut-être ont-ils, outre leur masse électro-dynamique, une vraie masse mécanique. La véritable masse d'un corps, ce serait alors la somme des masses mécaniques de ses électrons positifs, les électrons négatifs ne compteraient pas ; la masse ainsi définie pourrait encore être constante.

Hélas ! cette ressource aussi nous échappe. Rappelons-nous ce que nous avons dit au sujet du principe de relativité et des efforts faits pour le sauver. Et ce n'est pas seulement un principe qu'il s'agit de sauver, ce sont les résultats indubitables des expériences de Michelson. Eh bien, ainsi que nous l'avons vu plus haut, pour rendre compte de ces résultats, Lorentz a été obligé de supposer que toutes les forces, quelle que soit leur origine, étaient réduites dans la même proportion dans un milieu animé d'une translation uniforme ; ce n'est pas assez, il ne suffit pas que cela ait lieu pour les forces réelles, il faut encore qu'il en soit de même pour les forces d'inertie ; il faut donc, dit-il, que *les masses de toutes les*

particules soient influencées par une translation au même degré que les masses électro-magnétiques des électrons.

Ainsi les masses mécaniques doivent varier d'après les mêmes lois que les masses électro-dynamiques ; elles ne peuvent donc pas être constantes.

Ai-je besoin de faire observer que la chute du principe de Lavoisier entraîne celle du principe de Newton. Ce dernier signifie que le centre de gravité d'un système isolé se meut en ligne droite ; mais, s'il n'y a plus de masse constante, il n'y a plus de centre de gravité, on ne sait même plus ce que c'est. C'est pourquoi j'ai dit plus haut que les expériences sur les rayons cathodiques avaient paru justifier les doutes de Lorentz au sujet du principe de Newton.

De tous ces résultats, s'ils se confirmaient, sortirait une mécanique entièrement nouvelle qui serait surtout caractérisée par ce fait qu'aucune vitesse ne pourrait dépasser celle de la lumière¹, pas plus qu'aucune température ne peut tomber au-dessous du zéro absolu. Pour un observateur, entraîné lui-même dans une translation dont il ne se doute pas, aucune vitesse apparente ne pourrait non plus dépasser celle de la lumière ; et ce serait là une contradiction, si l'on ne se rappelait que cet observateur ne se servirait pas des mêmes horloges qu'un observateur fixe, mais bien d'horloges marquant le « temps local ».

Nous voici alors en face d'une question que je me borne à poser. S'il n'y a plus de masse, que devient la loi de Newton ?

La masse a deux aspects : c'est à la fois un coefficient d'inertie et une masse attirante entrant comme facteur dans l'attraction newtonienne. Si le coefficient d'inertie n'est pas constant, la masse attirante pourra-t-elle l'être ? Voilà la question.

Du moins le principe de la conservation de l'énergie nous restait encore et celui-là paraissait plus solide. Vous rappellerai-je

1. Car les corps opposeraient une inertie croissante aux causes qui tendraient à accélérer leur mouvement ; et cette inertie deviendrait infinie quand on approcherait de la vitesse de la lumière.

comment il fut à son tour jeté en discrédit ? L'événement a fait plus de bruit que les précédents et il est dans toutes les mémoires. Dès les premiers travaux de Becquerel et surtout quand les Curie eurent découvert le radium, on vit que tout corps radioactif était une source inépuisable de radiation. Son activité semblait subsister sans altération à travers les mois et les années. C'était déjà là une entorse aux principes ; ces radiations, c'était en effet de l'énergie, et de ce même morceau de radium, il en sortait et il en sortait toujours. Mais ces quantités d'énergie étaient trop faibles pour être mesurées ; du moins on le croyait et l'on ne s'en inquiétait pas trop.

La scène changea quand Curie s'avisa de mettre le radium dans un calorimètre ; on vit alors que la quantité de chaleur incessamment créée était très notable.

Les explications proposées furent nombreuses ; mais en pareille matière on ne peut pas dire qu'abondance de biens ne nuit pas ; tant que l'une d'elles n'aura pas triomphé des autres, nous ne pourrons pas être sûrs qu'aucune d'entre elles soit bonne. Depuis quelque temps toutefois, une de ces explications semble prendre le dessus et l'on peut raisonnablement espérer que nous tenons la clef du mystère.

Sir W. Ramsay a cherché à montrer que le radium se transforme, qu'il renferme une provision d'énergie énorme, mais non inépuisable. La transformation du radium produirait alors un million de fois plus de chaleur que toutes les transformations connues ; le radium s'épuiserait en 1250 ans ; c'est bien court, mais vous voyez que nous sommes du moins certains d'être fixés sur ce point d'ici quelques centaines d'années. En attendant nos doutes subsistent.

Au milieu de tant de ruines, que reste-t-il debout ? Le principe de moindre action est intact jusqu'ici, et Larmor paraît croire qu'il survivra longtemps aux autres : il est en effet plus vague et plus général encore.

En présence de cette débâcle générale des principes, quelle attitude va prendre la Physique mathématique ? Et d'abord, avant de trop s'émouvoir, il convient de se demander si tout cela est bien vrai. Toutes ces dérogations aux principes, on ne les rencontre que dans les infiniment petits : il faut le microscope pour voir le mouvement brownien ; les électrons sont bien légers : le radium est bien rare et l'on n'en a jamais que quelques milligrammes à la fois ; et alors on peut se demander si, à côté de l'infiniment petit qu'on a vu, il n'y avait pas un autre infiniment petit qu'on ne voyait pas et qui faisait contre-poids au premier.

Il y a donc là une question préjudicielle, et à ce qu'il semble l'expérience seule peut la résoudre. Nous n'aurions donc qu'à passer la main aux expérimentateurs et, en attendant qu'ils aient tranché définitivement le débat, à ne pas nous préoccuper de ces inquiétants problèmes, et à continuer tranquillement noire œuvre comme si les principes étaient encore incontestés. Certes nous avons beaucoup à faire sans sortir du domaine où l'on peut les appliquer en toute sûreté : nous avons de quoi employer noire activité pendant cette période de doutes.

Et pourtant ces doutes, est-il bien vrai que nous ne puissions rien faire pour en débarrasser la Science ? Il faut bien le dire, ce n'est pas seulement la physique expérimentale qui les a fait naître, la physique mathématique y a bien contribué pour sa part. Ce sont les expérimentateurs qui ont vu le radium dégager de l'énergie, mais ce sont les théoriciens qui ont mis en évidence toutes les difficultés soulevées par la propagation de la lumière à travers un milieu en mouvement ; sans eux il est probable qu'on ne s'en serait pas avisé. Eh bien, alors, s'ils ont fait de leur mieux pour nous mettre dans l'embarras, il convient aussi qu'ils nous aident à en sortir.

Il faut qu'ils soumettent à la critique toutes ces vues nouvelles que je viens d'esquisser devant vous, et qu'ils n'abandonnent les principes qu'après avoir fait un effort loyal pour les sauver. Que

peuvent-ils faire dans ce sens ? C'est ce que je vais chercher à expliquer.

Parmi les problèmes les plus intéressants de la Physique mathématique, il convient de faire une place à part à ceux qui se rapportent à la théorie cinétique des gaz.

On a déjà beaucoup fait pour les résoudre, mais il reste encore beaucoup à faire. Cette théorie est un éternel paradoxe. Nous avons la réversibilité dans les prémisses et l'irréversibilité dans les conclusions ; et entre les deux un abîme ; les considérations statistiques, la loi des grands nombres suffisent-elles pour le combler ? Bien des points restent encore obscurs sur lesquels il faudra revenir et sans doute à plusieurs reprises. En les éclaircissant on comprendra mieux le sens du principe de Carnot, et sa place dans l'ensemble de la Dynamique. et l'on sera mieux armé pour interpréter convenablement la curieuse expérience de Gouy dont je parlais plus haut.

Ne devrions-nous pas aussi nous efforcer d'obtenir une théorie plus satisfaisante de l'électrodynamique des corps en mouvement ? C'est là surtout, je l'ai suffisamment montré plus haut, que les difficultés s'accumulent ; on a beau entasser les hypothèses, on ne peut satisfaire à tous les principes à la fois ; on n'a pu réussir jusqu'ici à sauvegarder les uns qu'à la condition de sacrifier les autres ; mais tout espoir d'obtenir de meilleurs résultats n'est pas encore perdu. Prenons donc la théorie de Lorentz, retournons-la dans tous les sens : modifions-la peu à peu, et tout s'arrangera peut-être.

Ainsi, au lieu de supposer que les corps en mouvement subissent une contraction dans le sens du mouvement et que cette contraction est la même quelles que soient la nature de ces corps et les forces auxquelles ils sont d'ailleurs soumis, ne pourrait-on pas faire une hypothèse plus simple et plus naturelle ? On pourrait imaginer, par exemple, que c'est l'éther qui se modifie quand il se trouve en mouvement relatif par rapport au milieu matériel qui le

pénètre, que, quand il est ainsi modifié il ne transmet plus les perturbations avec la même vitesse dans tous les sens. Il transmettrait plus rapidement celles qui se propageraient parallèlement au mouvement au milieu, soit dans le même sens, soit en sens contraire, et moins rapidement celles qui se propageraient perpendiculairement. Les surfaces d'onde ne seraient plus des sphères, mais des ellipsoïdes et l'on pourrait se passer de cette extraordinaire contraction de tous les corps.

Je ne cite cela qu'à titre d'exemple, car les modifications que l'on pourrait essayer seraient évidemment susceptibles de varier à l'infini.

Il est possible aussi que l'Astronomie nous fournisse un jour des données sur ce point : c'est elle, en somme, qui a soulevé la question en nous faisant connaître le phénomène de l'aberration de la lumière. Si l'on fait brutalement la théorie de l'aberration, on arrive à un résultat bien curieux. Les positions apparentes des étoiles diffèrent de leurs positions réelles, à cause du mouvement de la Terre et, comme ce mouvement est variable, ces positions apparentes varient. La position réelle nous ne pouvons la connaître, mais nous pouvons observer les variations de la position apparente. Les observations de l'aberration nous montrent donc non le mouvement de la Terre, mais les variations de ce mouvement ; elles ne peuvent par conséquent nous renseigner sur le mouvement absolu de la Terre.

C'est du moins ce qui est vrai en première approximation, mais il n'en serait plus de même si l'on pouvait apprécier les millièmes de seconde. On verrait alors que l'amplitude de l'oscillation dépend non seulement de la variation du mouvement, variation qui est bien connue, puisque c'est le mouvement de notre globe sur son orbite elliptique, mais de la valeur moyenne de ce mouvement, de sorte que la constante de l'aberration ne serait pas tout à fait la même pour toutes les Étoiles, et que les différences nous feraient connaître le mouvement absolu de la Terre dans l'espace.

Ce serait là, sous une autre forme, la ruine du principe de la relativité. Nous sommes loin, il est vrai, d'apprécier le millième de seconde, mais après tout, disent quelques personnes, la vitesse absolue totale de la Terre est peut-être beaucoup plus grande que sa vitesse relative par rapport au Soleil ; si elle était, par exemple, de 300^{km} par seconde au lieu de 30^{km} , cela suffirait pour que le phénomène devînt observable.

Je crois qu'en raisonnant ainsi on admet une théorie trop simpliste de l'aberration ; Michelson nous a montré, je vous l'ai dit, que les procédés physiques sont impuissants à mettre en évidence le mouvement absolu ; je suis persuadé qu'il en sera de même des procédés astronomiques quelque loin que l'on pousse la précision.

Quoi qu'il en soit, les données que l'Astronomie nous fournira dans ce sens seront un jour précieuses pour le physicien. Eu attendant, je crois que les théoriciens, se rappelant l'expérience de Michelson, peuvent escompter un résultat négatif, et qu'ils feraient œuvre utile en construisant une théorie de l'aberration qui en rendrait compte d'avance.

Mais revenons sur la Terre ; là aussi nous pouvons aider les expérimentateurs. Nous pouvons, par exemple, préparer le terrain en étudiant à fond la dynamique des électrons ; non pas, bien entendu, en parlant d'une hypothèse unique, mais en multipliant les hypothèses autant que possible ; ce sera ensuite aux physiciens à utiliser notre travail pour chercher l'expérience cruciale qui doit décider entre elles.

Cette dynamique des électrons peut être abordée par bien des côtés ; mais, parmi les chemins qui y conduisent, il y en a un qui a été quelque peu négligé, et c'est pourtant un de ceux qui nous promettent le plus de surprises. Ce sont les mouvements des électrons qui produisent les raies des spectres d'émission ; ce qui le prouve, c'est le phénomène de Zeemann ; dans un corps incandescent, ce qui vibre est sensible à l'aimant, donc électrisé. C'est là un premier point très important, mais on n'est pas entré plus avant ;

pourquoi les raies du spectre sont-elles distribuées d'après une loi régulière? Ces lois ont été étudiées par les expérimentateurs dans leurs moindres détails; elles sont très précises et relativement simples. La première étude de ces distributions fait songer aux harmoniques que l'on rencontre en Acoustique : mais la différence est grande; non seulement les nombres de vibrations ne sont pas les multiples successifs d'un même nombre; mais nous ne retrouvons même rien d'analogue aux racines de ces équations transcendantes auxquelles nous conduisent tant de problèmes de Physique mathématique : celui des vibrations d'un corps élastique de forme quelconque, celui des oscillations hertziennes dans un excitateur de forme quelconque, le problème de Fourier pour le refroidissement d'un corps solide.

Les lois sont plus simples, mais elles sont de tout autre nature et, pour ne citer qu'une de ces différences, pour les harmoniques d'ordre élevé le nombre des vibrations tend vers une limite finie, au lieu de croître indéfiniment.

De cela on n'a pas encore rendu compte, et je crois que c'est là un des plus importants secrets de la nature. Lindemann a fait une louable tentative, mais à mon avis sans succès; cette tentative, il faudrait la renouveler. Nous pénétrerons ainsi pour ainsi dire dans l'intimité de la matière. Et, au point de vue particulier qui nous occupe aujourd'hui, quand nous saurons pourquoi les vibrations des corps incandescents diffèrent ainsi des vibrations élastiques ordinaires, pourquoi les électrons ne se comportent pas comme la matière qui nous est familière, nous comprendrons mieux la dynamique des électrons et il nous sera peut-être plus facile de la concilier avec les principes.

Supposons maintenant que tous ces efforts échouent et, tout compte fait, je ne le crois pas; que faudra-t-il faire? Faudra-t-il chercher à raccommoder les principes ébréchés, en donnant ce que nous autres Français nous appelons un coup de pouce? Cela est évidemment toujours possible et je ne retire rien de ce que

j'ai dit autrefois. N'avez-vous pas écrit, pourriez-vous me dire si vous vouliez me chercher querelle, n'avez-vous pas écrit que les principes, quoique d'origine expérimentale, sont maintenant hors des atteintes de l'expérience parce qu'ils sont devenus des conventions ? Et maintenant vous venez nous dire que les conquêtes les plus récentes de l'expérience mettent ces principes en danger.

Et bien, j'avais raison autrefois et je n'ai pas tort aujourd'hui. J'avais raison autrefois et ce qui se passe maintenant en est une preuve nouvelle, Prenons, par exemple, l'expérience calorimétrique de Curie sur le radium. Est-il possible de la concilier avec le principe de la conservation de l'énergie ? On l'a tenté de bien des manières ; mais il y en a une entre autres que je voudrais vous faire remarquer ; ce n'est pas l'explication qui tend aujourd'hui à prévaloir, mais c'est une de celles qui ont été proposées. On a supposé que le radium n'était qu'un intermédiaire, qu'il ne faisait qu'emmagasiner des radiations de nature inconnue qui sillonnaient l'espace dans tous les sens, en traversant tous les corps, sauf le radium, sans être altérées par ce passage et sans exercer sur eux aucune action. Le radium seul leur prendrait un peu de leur énergie et il nous la rendrait ensuite sous diverses formes.

Quelle explication avantageuse et combien elle est commode ! D'abord elle est invérifiable et par là même irréfutable. Ensuite elle peut servir pour rendre compte de n'importe quelle dérogation au principe de Mayer ; elle répond d'avance non seulement à l'objection de Curie, mais à toutes les objections que les expérimentateurs futurs pourraient accumuler. Cette énergie nouvelle et inconnue pourra servir à tout.

C'est bien ce que j'avais dit, et avec cela on nous montre bien que notre principe est hors des atteintes de l'expérience.

Et après, qu'avons-nous gagné à ce coup de pouce ? Le principe est intact, mais à quoi désormais peut-il servir ? Il nous permettait de prévoir que dans telle ou telle circonstance nous pouvions compter sur telle quantité totale d'énergie ; il nous limitait ; mais

maintenant qu'on met à notre disposition cette provision indéfinie d'énergie nouvelle, nous ne sommes plus limités par rien ; et, comme je l'avais écrit aussi, si un principe cesse d'être fécond, l'expérience, sans le contredire directement, l'aura cependant condamné.

Ce n'est donc pas cela qu'il faudrait faire ; nous devrions rebâtir à neuf. Si l'on était acculé à cette nécessité, nous pourrions d'ailleurs nous en consoler. Il ne faudrait pas en conclure que la Science ne peut faire qu'un travail de Pénélope, qu'elle ne peut élever que des constructions éphémères qu'elle est bientôt forcée de démolir de fond en comble de ses propres mains.

Comme je vous l'ai dit, nous avons déjà passé par une crise semblable. Je vous ai montré que, dans la seconde Physique mathématique, celle des principes, on retrouve les traces de la première, celle des forces centrales ; il en sera encore de même si nous devons en connaître une troisième. Tel l'animal qui mue, qui brise sa carapace trop étroite et s'en fait une plus jeune ; sous son enveloppe nouvelle, on reconnaîtra aisément les traits essentiels de l'organisme qui ont subsisté.

Dans quel sens allons-nous nous étendre, nous ne pouvons le prévoir ; peut-être est-ce la théorie cinétique des gaz qui va prendre du développement et servir de modèle aux autres. Alors les faits qui d'abord nous apparaissaient comme simples ne seraient plus que les résultantes d'un très grand nombre de faits élémentaires que les lois seules du hasard feraient concourir à un même but. La loi physique alors prendrait un aspect entièrement nouveau ; ce ne serait plus seulement une équation différentielle, elle prendrait le caractère d'une loi statistique.

Peut-être aussi devons-nous construire toute une Mécanique nouvelle que nous ne faisons qu'entrevoir, où, l'inertie croissant avec la vitesse, la vitesse de la lumière deviendrait une limite infranchissable. La Mécanique vulgaire, plus simple, resterait une première approximation puisqu'elle serait vraie pour les vitesses

qui ne seraient pas très grandes, de sorte qu'on retrouverait encore l'ancienne Dynamique sous la nouvelle. Nous n'aurions pas à regretter d'avoir cru aux principes, et même, comme les vitesses trop grandes pour les anciennes formules ne seraient jamais qu'exceptionnelles, le plus sûr dans la pratique serait encore de faire comme si l'on continuait à y croire. Ils sont si utiles qu'il faudrait leur conserver une place. Vouloir les exclure tout à fait, ce serait se priver d'une arme précieuse. Je me hâte de dire, pour terminer, que nous n'en sommes pas là et que rien ne prouve encore qu'ils ne sortiront pas de la lutte victorieux et intacts.