

cône, de la sphère, du cylindre : toutes ces opérations donnent des solutions nettes ou des expressions définies. Les progrès subséquents étaient réservés aux temps modernes, après la découverte de l'algèbre. Ces progrès ont marché à proportion que l'algèbre et ses applications à la géométrie ont elles-mêmes avancé. Les fluxions de Newton et le calcul différentiel de Leibniz étaient de grandes applications algébriques. Ces méthodes contenaient un ordre nouveau de quantités, appelées fluxions par Newton, et coefficients différentiels par Leibniz; quantités engendrées avec les quantités ordinaires, d'après des considérations empruntées à la théorie des limites et de nouveau ramenées à leurs principes d'après les mêmes lois. Les quantités une fois créées, les opérations n'étaient qu'une pure algèbre; les mathématiciens laissaient les opérations se justifier elles-mêmes par leurs résultats, n'essayant que rarement de rendre compte des hypothèses que ces opérations supposent. De là des attaques vives contre le système, telles que le fameux sarcasme de Berkeley qui disait que le calcul des fluxions opérait sur les fantômes des quantités défuntes. Lagrange a porté au comble ce défaut qui consiste à ne pas déterminer le véritable principe du calcul, et à le traiter depuis le commencement jusqu'à la fin comme une hypothèse purement algébrique. Whewel et de Morgan ont réclamé, et ils ont assuré la réconciliation nécessaire de l'algèbre avec les conditions des divers problèmes à résoudre, en montrant que l'approximation doit être considérée comme essentielle à ces opérations.

CHAPITRE II.

LOGIQUE DE LA PHYSIQUE.

1. On a vu (dans l'introduction) que la branche de la science qu'on appelle la philosophie naturelle ou la **PHYSIQUE** se subdivise en deux parties, — la *physique mécanique* et la *physique moléculaire*.

L'ensemble de connaissances qu'on appelle *philosophie naturelle* ne peut guère être défini, à moins qu'on n'y distingue deux parties : la *physique mécanique*, ou le mouvement par masses, et la *physique moléculaire*, ou le mouvement dans les molécules.

La physique des masses, la *physique mécanique*, comprend les phénomènes du mouvement et de la force, en tant qu'ils appartiennent à des corps pris dans leur masse. Tels sont les phénomènes des mouvements planétaires, des corps graves, des rivières, des vents, etc.

La physique des molécules, la *physique moléculaire*, traite des mouvements et des forces qui agissent entre les particules ou les molécules dont la petitesse échappe à la portée de nos sens. Les phénomènes qui dérivent de ces mouvements et de ces forces sont les phénomènes d'agrégation, de cohésion et d'adhésion : la chaleur, l'électricité, la lumière. On réserve la force moléculaire, qu'on appelle la force chimique, parce qu'elle a un caractère spécial et des conséquences propres.

Physique mécanique.

DIVISION DU SUJET.

2. Les parties abstraites qui traitent du mouvement et de la force en général, et qui peuvent être soumises à une méthode mathématique et déductive, sont les suivantes : —

Mathématiques du mouvement : — *Cinématique.*

Forces 1^{re} en équilibre. *Statique.*

Forces 2^{es} produisant le mouvement. . *Dynamique.*

Les parties concrètes sont :

La *mécanique appliquée aux machines*;

L'*hydrostatique* et l'*hydrodynamique*;

L'*aérostatique* et la *pneumatique*;

L'*acoustique*;

L'*astronomie.*

NOTIONS DE LA PHYSIQUE MÉCANIQUE.

3. La physique présuppose les notions (aussi bien que les propositions) des mathématiques. Nous ne passons en revue ici que les notions spéciales à la physique mécanique.

Mouvement, repos. — Ces deux termes opposés font partie des notions fondamentales de la physique, et sont probablement une expérience ultime de l'esprit humain. Nous acquérons l'idée du mouvement par un développement particulier de nos énergies actives, avec l'aide de nos sensations. Nous acquérons aussi la connaissance des divers modes du mouvement : mouvement rapide, lent, uniforme, varié, rectiligne, curviligne, continu, intermittent, etc. Les modes qui dépendent du degré, ou de la *rapidité*, font partie de l'expérience ultime du mouvement; les modes qui sont caractérisés par la *forme* ont une propriété qui leur est commune avec l'étendue pure.

Force. — C'est à coup sûr la notion la plus fondamentale de l'esprit humain; dans l'ordre du développement, elle est contemporaine de l'idée du mouvement et de l'idée

de l'étendue, si même elle ne lui est pas antérieure. Elle ne peut être définie qu'à la façon des notions ultimes. Le sentiment que nous éprouvons quand nous dépendons notre énergie musculaire, soit en résistant, soit en produisant nous-mêmes le mouvement, est une expérience unique et irréductible.

Inertie, résistance. — Ces mots expriment l'expérience que nous faisons de la force au point de vue objectif, telle qu'elle se présente à nous lorsqu'elle est unie aux choses du monde extérieur. L'occasion qui fait naître notre sentiment de l'énergie, lorsqu'il se rapporte à un fait extérieur, est la résistance, l'inertie ou la force extérieure, — expressions diverses pour dire la même chose. Ce grand fait se révèle originellement dans l'expérience de chacun de nous; quant à la meilleure manière de l'exprimer, la question peut être discutée.

La *matière* est l'étendue associée à la *force* ou à l'*inertie*. Toute chose étendue qui en même temps possède la force, soit pour résister, soit pour produire le mouvement, est matière.

Masse, densité, solidité : ce sont des notions dérivées. On les obtient en associant la force et l'étendue ou le volume. La *masse* est la force collective d'un corps, force qui est manifestée par son degré de résistance, et aussi par son degré de mouvement. La *densité* est le degré de concentration dans l'espace; un pouvoir donné de résistance, avec une masse ou un volume moindre, constitue une *densité* plus grande. La *solidité*, lorsqu'elle ne signifie pas l'état solide des corps en général, dans son opposition à l'état liquide ou gazeux, n'est qu'un synonyme du mot densité.

Le *choc* est un phénomène déterminé par l'espace ou l'étendue, le mouvement et la force. C'est une manière de communiquer le mouvement et de mesurer la force.

L'*attraction* peut être définie par l'étendue, le mouvement et la force. C'est une façon de communiquer la force, distincte du choc, et à quelques égards plus simple. Les exemples spécifiques de l'attraction sont la gravitation, la

cohésion, l'adhésion, le magnétisme, l'attraction électrique, l'attraction chimique.

La *répulsion* peut être définie en se rapportant aux mêmes notions fondamentales. Elle est aussi une manière de communiquer la force, et diffère de l'attraction seulement en ce qu'elle modifie la situation relative des masses qui la subissent. On en trouve un exemple dans l'énergie expansive des gaz sous leur forme ordinaire, dans l'expansion des liquides et des solides par suite de l'élévation de la température, et après compression (c'est ce qu'on appelle élasticité). Les forces de polarité, — magnétisme, électricité, etc., — exercent, en même temps que l'attraction, une répulsion opposée.

En combinant ces notions élémentaires, nous obtenons les notions suivantes : équilibre, composition et résolution, résultante, vitesse virtuelle, centripète, centrifuge, force tangentielle, projectile.

A la *mécanique* appartiennent les notions que voici : la pesanteur spécifique, le centre de gravité, la stabilité, l'oscillation, la rotation, la percussion, le pendule, le pouvoir mécanique, la machine, le travail, le frottement.

Dans l'*hydrostatique* apparaissent les liquides, la pression des liquides, le niveau des liquides, le déplacement, la flottaison, les colonnes de liquides, l'hydromètre.

Dans l'*hydrodynamique*, les mouvements des liquides, l'écoulement, les vagues liquides, les pompes, les roues à eau, les propulseurs.

Dans l'*aérostatique* et la *pneumatique* : l'air, l'atmosphère, l'expansion des gaz, les ondulations, la succion, le baromètre, l'anémomètre.

Dans l'*acoustique* : le son, l'intensité, le timbre, les vibrations, les cordes, les échos, l'harmonie.

Dans l'*astronomie* : le soleil, les planètes, les satellites, les comètes, les aéroolithes, les bolides, les étoiles, les nébuleuses, les orbites, l'écliptique, l'année, le mois, le jour, l'éclipse, la parallaxe, l'ascension droite, la déclinaison,

l'excentricité, l'apside, la périhélie, la perturbation, le balancement, la précession, les marées.

PROPOSITIONS DE LA PHYSIQUE MÉCANIQUE.

4. Ces propositions se rapportent aux deux catégories suivantes : 1° les inductions de la force et du mouvement; 2° les *propria* déterminés par la déduction et qui établissent les relations quantitatives du mouvement et de la force; 3° les lois empiriques des phénomènes concrets.

1° Les grandes inductions, communément appelées lois du mouvement, sont les axiomes de la science. Nous les considérerons plus tard. Elles sont toutes quantitatives dans leur expression. Une autre induction fondamentale est la loi de la gravitation.

2° La science étant surtout déductive, ses propositions sont pour la plupart des conséquences deductives tirées des axiomes. Telles sont : — les propositions de la composition et de la révolution des mouvements et des forces, — la proposition appelée la « loi des aires », le principe des forces mécaniques, les principes du pendule, la loi de la pression des liquides, les lois de la propagation et de la réflexion du son.

Toutes ces vérités sont établies sous forme de propositions réelles; elles n'en sont pas moins déduites des axiomes ou des inductions de la science qu'on applique à des cas particuliers. Par exemple, la loi de la pression des fluides a ce caractère : « Dans tous les points d'un fluide, la pression est égale dans toutes les directions. » Le *sujet* de la proposition suppose un fluide en repos, un point pris dans la masse, et l'attention donnée à la pression; le *prédicat* est « l'égalité dans toutes les directions ». La preuve est déductive, et repose en dernière analyse sur les axiomes du mouvement et de la force, en y joignant la définition des fluides, bien que les majeures les plus immédiates soient les propositions de la composition des forces.

Il faut encore rattacher subsidiairement au domaine de la science les propositions par lesquelles on exprime les

quantités de mouvement, de force, etc., qui existent dans les choses réelles. Ainsi, outre la loi de la gravitation, nous avons la détermination quantitative de la gravitation à la surface de la terre; nous avons aussi les pesanteurs relatives des différents solides et des différents fluides. Ces propositions numériques sont appelées les *data*, les *coefficients* de la science, et sont établies par l'observation et l'expérience.

3° Il y a enfin un certain nombre de *lois empiriques* obtenues par l'observation ou l'expérience. Telles sont les lois du frottement, du mouvement des projectiles (lois en partie déductives), le courant des rivières, le jet des liquides, la compression des liquides et des gaz, la diffusion du son, l'action des cordes vibrantes, etc. Toutes ces propositions sont réelles. Elles sont des *propria*, c'est-à-dire des vérités qu'on peut déduire des principes ultimes; mais, dans l'état actuel de nos connaissances, elles doivent être établies par des expériences directes.

DEFINITIONS DE LA PHYSIQUE MÉCANIQUE.

5. Dans la physique, comme dans les mathématiques, il y a certaines propriétés ultimes, que le langage ne peut communiquer; chacune d'elles ne peut être connue que par une expérience indépendante. Il est permis néanmoins de chercher comment on peut le mieux généraliser et établir cette expérience.

Les faits appelés mouvement, force, matière, ne peuvent être compris que par notre expérience concrète des choses que ces noms dénotent. Mais nos observations imparfaites peuvent être rectifiées par des comparaisons plus soignées, et ramenées à une détermination générale et précise. Comme dans les mathématiques, nous pouvons choisir ici l'*aspect* le plus convenable pour servir de point de départ à nos raisonnements déductifs.

Définition du mouvement. — On ne saurait en aucune façon communiquer la connaissance du mouvement. Il n'y a pas de notions plus simples pour exprimer ce fait. L'expression « changement de place » n'est pas plus intelli-

gible que le mot mouvement. Nous devons supposer que chacun comprend par lui-même le mouvement en général, les degrés du mouvement (degrés qui peuvent être déterminés numériquement), et aussi les modes les plus simples du mouvement : le mouvement en ligne droite et le mouvement divergent. Les mouvements plus complexes peuvent alors être facilement définis. La *vitesse* signifie un degré du mouvement. La seule chose qui ait besoin d'être exprimée formellement est la *mesure* du mouvement, ou la vitesse par rapport à l'espace et au temps, en admettant que ces derniers éléments sont intelligibles par eux-mêmes.

Matière, force, inertie. — Ce sont trois mots pour représenter le même fait. Au fond, il n'y a qu'une seule expérience, bien que cette expérience comporte des circonstances diverses, à savoir : l'expérience du déploiement de la force musculaire pour produire le mouvement, ou pour lui résister. A cette expérience nous donnons les noms de force et de matière, qui sont, non pas deux choses, mais une seule et même chose. L'inertie n'est encore qu'une autre expression du même fait. On ne fait qu'une tautologie en définissant l'un de ces termes par les deux autres. La matière est précisément ce qui donne lieu à l'expérience qu'on appelle aussi la force. La force n'est que la matière en mouvement, ou qui s'oppose au mouvement.

La matière cependant nous affecte autrement que par la sensation musculaire de la résistance ou de l'énergie qu'on déploie. Elle est toujours étendue, dans la plupart des cas visible, et même tangible. Ne devons-nous pas par conséquent comprendre ces faits dans la définition de la matière? Non, et pour les raisons suivantes : 1° l'étendue n'est pas limitée à la matière, elle appartient aussi à l'espace vide; par conséquent, bien qu'elle soit un prédicat de la matière, l'étendue n'est pas exclusivement la propriété de la matière; 2° quant à la visibilité et à la tangibilité, elles appartiennent sans doute à beaucoup de substances matérielles, mais non pas à toutes; par conséquent ces propriétés

ne peuvent pas servir de définition à la matière en général, à toute espèce de matière; elles doivent être réservées pour la définition des substances matérielles où elles se présentent, les solides et les liquides par exemple. Le seul fait qui soit réalisé dans toutes les formes de la matière est donc la résistance, la force ou l'inertie : noms divers d'un même phénomène. Ce phénomène, quand on l'examine à fond et quand on le généralise autant que possible, se présente sous deux aspects différents que nous pouvons distinguer, mais non séparer : l'un est la résistance, qu'opposent au mouvement les corps en repos ou en mouvement; l'autre la communication du mouvement par les corps en mouvement. La première forme, la résistance, est le sens qu'on donne le plus vulgairement à l'inertie; la seconde forme, la communication du mouvement, est l'aspect le plus populaire de la force; mais, au point de vue scientifique, les deux phénomènes ne sont qu'une seule et même propriété.

Il n'y a donc qu'une seule définition pour la matière et pour l'inertie, ou pour les substances inertes. Cette définition généralise nos expériences les plus familières de résistance au mouvement, ou de communication du mouvement. Exprimée complètement, elle équivaut à la proposition qui détermine la première loi du mouvement. Nous avons le droit de donner comme l'attribut essentiel de la matière, attribut sans lequel la matière n'existe pas, le fait que, si la matière est en repos, elle reste en repos; que, si elle se meut, elle continue à se mouvoir en droite ligne. Pour faire passer la matière du repos au mouvement, la matière en mouvement doit agir; pour arrêter le mouvement, la matière, soit en repos, soit en mouvement, doit intervenir. C'est tout ce que contient véritablement le sens de la matière. Nous ne pouvons séparer ces qualités, et considérer l'une comme l'attribut essentiel à la définition, l'autre comme un prédicat accessoire distinct de la définition. Personne n'a jamais réussi à constituer une proposition *réelle* avec ces propriétés. La seule façon d'arriver en apparence à une

proposition réelle, c'est d'attribuer à la matière le sens imparfait qu'admettent les esprits sans instruction (qui ne reconnaissent pas tout à fait la persistance du mouvement dans la matière), et de lui donner pour prédicats les deux généralités que la science considère comme les attributs essentiels de la matière; mais lorsque la science a obtenu ces généralités, elles sont l'une et l'autre enveloppées dans la définition de la matière, et l'on n'a pas le droit de prendre l'une comme une propriété essentielle, en réservant l'autre pour un prédicat distinct. Il y a une *définition*, non une *loi* de l'inertie.

Ainsi la persistance dans le repos ou dans le mouvement uniforme rectiligne, tel est le sens de l'inertie et de la matière en général. A cette signification se rattache nécessairement l'idée d'une résistance active, et aussi d'une communication active du mouvement. La difficulté est de trouver une expression qui comprenne tous ces aspects divers d'une seule propriété indivisible. La matière en repos agit tantôt par une résistance victorieuse, tantôt en employant la force qui agit sur elle pour passer elle-même à l'état de mouvement. La matière en mouvement peut ou bien résister au mouvement, ou engendrer le mouvement. Mais, au fond, il n'y a pas là une pluralité de propriétés; nous ne pouvons supposer que l'une d'elles soit séparée des autres. La définition emploie plusieurs phrases pour exprimer une seule chose.

La matière et l'inertie étant ainsi définies d'un seul coup, il faut ajouter que la *force* n'est qu'une autre forme du même fait. La matière inerte en mouvement est l'expression la plus caractéristique de la force, et elle sert de mesure à la force; mais nous ne pouvons exclure de l'idée de la force la considération de la matière en repos. En mesurant la force par la matière en mouvement, nous entendons la matière qui passe du repos au mouvement, ou d'une espèce de mouvement à un mouvement plus rapide; c'est là la génération de la force. D'autre part, la force se manifeste dans l'arrêt imposé au mouvement lorsque les corps sont

réduits à l'état de repos. C'est là la dépense de la force.

De même qu'il n'y a qu'un seul fait compris sous les trois expressions de la matière, de l'inertie, de la force, de même il n'y a qu'une mesure pour ces choses en apparence diverses. Une plus large quantité de matière ou d'inertie est la même chose qu'une plus large dépense de force employée à faire passer la matière du repos à une espèce de mouvement. La mesure ultime n'est autre que la conscience humaine de l'énergie dépensée. Il y a une imprégnation marquée dans l'expression qu'on donne pour une loi : « Le degré de l'inertie augmente avec la quantité de la matière. » Les deux propriétés distinguées ne sont au fond qu'un même fait.

Résumons-nous. Tout homme peut trouver dans son expérience personnelle des exemples concrets de la matière et de la force. Une comparaison de toutes les variétés des phénomènes révèle la présence d'un caractère commun, qui est au fond un et indivisible, mais qui se manifeste diversement comme résistance, comme source de mouvement, comme persistance dans le repos ou dans le mouvement uniforme rectiligne. A cette unité qui se présente sous différents aspects nous donnons les noms de matière, d'inertie, de force, qui ont une définition commune et une mesure commune. Le mot matière est le nom concret, tandis que les mots d'inertie et de force sont les abstractions de ce qui est commun à toute matière.

Masse, densité. — La masse est la quantité de la matière mesurée de la façon qui a déjà été décrite, à savoir, par la dépense de force nécessaire pour changer l'état du corps et le faire passer à un état déterminé. Lorsque la masse et le volume sont donnés, nous avons par suite la *densité*. Le volume et la masse précèdent logiquement la densité, au point de vue de la définition. M. Thomson et Tait placent la densité avant la masse.

Le *momentum* est un nom convenable pour la force ; sa mesure est la masse multipliée par la vitesse. L'unité de force ou de momentum est une unité de masse, multipliée

par une unité de vitesse. La masse est ordinairement appréciée par le *poids*, mais en employant ce procédé nous anticipons sur la considération de la pesanteur, qui doit être exclue des définitions élémentaires du mouvement, de la matière et de la force.

La définition des notions qui suivent celles que nous venons d'indiquer, le choc, l'attraction, la répulsion, le poids, la cohésion, etc., ne nous présente pas de difficultés logiques. Toutes ces notions sont dérivées ; leurs éléments sont précisément les notions primaires susnommées, associées avec les notions mathématiques. Elles sont définies comme telles, bien qu'on puisse donner des exemples concrets pour aider l'intelligence à saisir les abstractions plus difficiles.

Ainsi le *choc* est le déplacement de la force qui passe d'un corps à un autre grâce, à un contact physique ; la direction communiquée est la direction que suivait le moteur lui-même. L'*attraction* est la génération continue de la force motrice, telle qu'elle se manifeste dans le rapprochement de deux corps ; la *répulsion* est la génération de la force qui a pour résultat d'éloigner deux corps l'un de l'autre. La *pesanteur* est l'attraction inhérente, persistante, invariable, qui se manifeste dans toute matière ; elle est proportionnelle à la masse, et s'étend à toutes les distances, d'après une loi uniforme de décroissance.

6. Les principaux axiomes de la science sont ordinairement exposés sous le titre : « Lois du mouvement. »

Dans la détermination de ces lois se trouvent mêlées des propositions réelles et des propositions verbales.

La première loi de Newton : « Tout corps persiste dans son repos ou dans son mouvement rectiligne uniforme, tant qu'il n'est pas déterminé à changer d'état par des forces qui agissent sur lui, » n'est que l'expression complète de la définition de la matière, de l'inertie ou du corps. Sans doute elle exprime plus que ne renferme la notion vague et vulgaire de la matière, mais elle ne dit

rien de plus que ce qui est absolument inséparable de l'idée scientifique de la matière. Elle constitue une proposition verbale, non une proposition réelle : une définition déguisée sous forme de proposition. « Le corps » signifie tout ce que Newton affirme de lui ; retranchez du corps tout ce que la loi affirme et implique, et il ne reste plus rien. Si un corps ne persiste pas dans son état de mouvement et de repos, il ne possède plus la qualité la plus élémentaire de la conception que nous nous faisons du corps, la qualité de la résistance. Et même des diverses manières de présenter les aspects élémentaires des corps, la matière, l'inertie, la force, on peut douter que celle qu'a choisie Newton soit la plus heureuse. En tout cas, il eût mieux valu donner la loi sous sa forme vraie, en la présentant comme une définition.

La seconde loi de Newton est celle-ci : « Le changement dans le mouvement est proportionnel à la force qui agit, et se produit dans la direction de cette force. » Cette loi suppose le fait de la communication ou du déplacement du mouvement, et affirme, bien que ce ne soit pas de la meilleure manière, l'équivalence quantitative de ce qui est donné et de ce qui est reçu.

La troisième loi est celle-ci : « A toute action correspond toujours une réaction égale et contraire, ou bien les actions mutuelles de deux corps sont toujours égales et directement opposées. » En moins de mots on dira : « L'action et la réaction sont égales et contraires. » On a fait souvent des objections à l'emploi du mot réaction dans cette loi. Le sens que lui a donné Newton est fixé par les exemples qu'il a choisis. Ces exemples sont de deux classes. La première classe porte sur le cas du mouvement communiqué par un choc, comme quand on pousse un corps, et quand on le tire par quelque intermédiaire solide, comme une corde ou une baguette.

Il y a à coup sûr une grande impropreté de termes, pour ne pas dire plus, à représenter la communication du mouvement dans ce cas par les expressions suivantes : « Lorsque nous poussons une pierre avec la main, la main

est repoussée par une force égale à celle par laquelle la pierre est poussée en avant, » ou bien : « un cheval qui remorque un bateau est entraîné en arrière par une force égale à celle par laquelle le bateau est entraîné en avant. » L'expression la plus naturelle serait que, quand un corps imprime un mouvement à un autre, il perd exactement la force qu'il communique ; ou encore que dans la répartition nouvelle de la force ou du mouvement rien ne se perd. Or, s'il y a une affirmation réelle dans la seconde loi, c'est celle-là et non pas une autre.

L'autre catégorie d'exemples donnés par Newton comprend un cas distinct, le seul cas qui donne au mot « réaction » une propriété apparente. C'est la communication du mouvement par une attraction (ou une répulsion) à distance. Lorsqu'un corps en attire un second, le second attire également le premier ; les attractions sont mutuelles et égales ; les mouvements produits sont exactement les mêmes dans chacun. C'est là un fait d'une grande importance dans la nature, et qui mérite d'être étudié à part ; en effet c'est le seul cas de la communication du mouvement où le résultat n'est pas modifié par les perturbations qui empêchent l'exactitude du calcul.

Ce fait doit être considéré comme une induction distincte. Cette induction s'accorde tout à fait avec la loi de la conservation du mouvement, après une nouvelle distribution déterminée par un choc. Elle a donc en elle-même une probabilité qui lui est inhérente, mais elle exige la confirmation de l'expérience. Des raisons ingénieuses pourraient être données pour établir qu'aucun autre résultat ne saurait se produire ; mais il n'y a pas de déduction infaillible qui nous force à appliquer la loi de conservation, fondée sur le choc, à l'égalité de l'attraction mutuelle.

En étudiant ainsi les trois lois du mouvement nous ne trouvons en définitive qu'un seul principe, le principe de la conservation de la force après une nouvelle distribution. La seconde loi n'a pas d'autre sens que celui-là. « Que le changement de mouvement est proportionnel à la force qui

agit » : c'est une proposition qui ne peut guère être autre chose qu'une proposition verbale, car il n'y a pas d'autre mesure de la force que le changement de mouvement. L'affirmation n'aurait pas de réalité sans cette circonstance qu'un corps en mouvement rencontre un autre corps et change l'état de cet autre corps — en le forçant à se mouvoir, ou en arrêtant son mouvement. C'est là une supposition qui n'est pas indiquée dans la pure définition de la force, et par conséquent nous faisons quelque chose de plus que répéter la définition, lorsque nous affirmons que la force communiquée au second corps est perdue pour le premier. Or c'est là tout ce que contient la troisième loi : seulement cette loi met en lumière le cas distinct de la force qui se développe par attraction ou répulsion à distance. Donc, en écartant la première loi qui n'est que la définition de l'inertie, nous pouvons résumer la seconde et la troisième loi en une seule proposition, qui affirme la conservation de la force ou du mouvement, après une nouvelle distribution, produite par un choc, ou par attraction et répulsion. C'est là le seul *axiome* de la science ; ses fondements sont inductifs. C'est une forme particulière, applicable aux forces *mécaniques*, de la loi universelle de la conservation de la force. En réalité, dans son application à la force mécanique, le principe n'est pas rigoureusement vrai ; il est vrai par rapport aux attractions et aux répulsions, et par suite l'astronomie ne commet point d'erreurs en l'appliquant. Mais il n'est pas vrai du mouvement communiqué par le choc ; il y a toujours une force perdue dans la collision mécanique, ou dans le déplacement de la force par un mécanisme quelconque : la force mécanique perdue reparait sous forme de mouvement moléculaire ou de chaleur.

La seconde loi de Newton a été considérée comme une façon d'établir le cas où le mouvement est communiqué à un corps qui se meut déjà dans une autre direction. Une force qui pousse dans une direction accomplira pleinement son effet dans cette direction, bien que le corps soit déjà en mouvement dans une autre direction, comme, par exem-

ple, lorsqu'un vaisseau qui suit un courant vers l'est est poussé par un vent du nord. C'est sur ce fondement que repose la loi de la composition du mouvement et de la force, mais ce n'est encore qu'une application du principe de la conservation du mouvement avec une distribution nouvelle. La direction non moins que la quantité du mouvement est comprise dans ce principe : un corps qui se meut dans une direction, et qui communique son mouvement, transmet la direction de son mouvement et non une autre. Avant d'affirmer la loi de la conservation dans toute sa généralité, nous devons la vérifier dans ce cas comme dans le cas des attractions mutuelles. Or, elle a été vérifiée, et par suite elle peut être affirmée.

Le principe des « vitesses virtuelles » est une expression hypothétique de la loi de conservation, appropriée aux diverses applications mécaniques, telles que la démonstration des pouvoirs mécaniques. Nous ne pouvons prouver la proposition statique du levier sans le supposer en mouvement. Dynamiquement la loi des pouvoirs mécaniques est la seule qui s'accorde avec la loi de la conservation de la force, et la preuve dynamique est donnée comme la preuve *statique* par la supposition d'un très-petit mouvement.

7. La seconde grande induction de la physique mécanique est la loi de la pesanteur.

La loi de la pesanteur associe les deux propriétés distinctes de l'inertie et de la pesanteur, et déclare que l'une est proportionnelle à l'autre, dans toutes les variétés de la matière. La loi est suffisamment exprimée sous cette forme : chaque portion de matière attire toutes les autres portions, l'attraction dans chacune étant en proportion de la masse (ou de l'inertie), et en raison inverse du carré de la distance.

Cette loi a été souvent citée dans d'autres parties de cet ouvrage, comme le seul exemple, non équivoque, de deux propriétés absolument coextensives, constituant une proposition tout à fait réciproque, et convertible par simple conversion.

En conséquence de cette loi, la gravitation est une mesure convenable de l'inertie. Notre unité de force (une certaine proportion d'inertie avec une certaine proportion de vitesse) est un poids donné, un kilogramme, par exemple, qui parcourt un certain nombre de mètres, par seconde.

ENCHAÎNEMENT ET MÉTHODE DE LA PHYSIQUE MÉCANIQUE.

8. Les branches de la physique mécanique suivent un ordre déductif. Les branches abstraites sont purement déductives, les branches concrètes associent la déduction avec les déterminations expérimentales.

La grande division en *statique* et *dynamique*, — l'équilibre et le mouvement, — épuise la partie abstraite du sujet. Ces sciences sont absolument mathématiques dans leur forme; les propositions et les démonstrations y sont données d'après les lois de la géométrie, de l'algèbre, des hautes mathématiques. On a constitué une branche mathématique préliminaire appelée *cinématique*; elle renferme les propositions qui portent seulement sur le fait du mouvement et sur ses éléments mathématiques. La composition et la résolution des mouvements, dans toutes les variétés possibles de complications, sont développées mathématiquement dans cette branche; elle est aussi applicable à l'optique. On peut ensuite appliquer les théorèmes aux problèmes de la statique et de la dynamique, qui portent sur le mouvement considéré comme le résultat et le fait essentiel de la force, dont l'expression complète est le produit du mouvement ou de la vitesse et de la masse.

Les branches concrètes sont : 1° les *pouvoirs mécaniques*, et les *machines* en général (en n'y comprenant pas les fluides). Ici il y a une application des lois déductives, mais ces lois doivent être modifiées par la structure moléculaire des corps, et ces modifications sont déterminées par l'expérience. Les lois du frottement, du déplacement moléculaire dans les chocs, etc., sont presque exclusivement le résultat de l'expérience. Lorsque la déduction est appliquée, elle doit être à chaque pas confirmée par l'expérience.

II. L'*hydrostatique* et l'*hydrodynamique* sont la statique et la dynamique abstraite appliquées aux liquides. Ici encore il faut employer l'expérience pour trouver les modifications des lois dynamiques qu'entraîne la structure moléculaire des liquides. Il faut ainsi recourir à l'expérience pour aider la déduction elle-même, qui risque d'être contrariée et gênée par les complications de la mobilité des fluides.

III. L'*aérostatique* et la *pneumatique* comprennent l'étude des corps gazeux; ici encore s'appliquent les remarques précédentes.

IV. L'*acoustique* traite des vibrations de l'air et des autres corps, vibrations qui produisent le son. Ici nous passons de la physique mécanique à la physique moléculaire; mais la façon d'étudier le phénomène (en raison des ressemblances avec le pendule et les mouvements des vagues) est dans un rapport étroit avec les branches mécaniques précédentes. Dans cette science cependant l'expérience l'emporte sur la déduction.

V. L'*astronomie* pourrait être placée, soit au premier rang, soit au dernier, parmi les branches concrètes. C'est d'une part celle qui s'écarte le moins de la statique et de la dynamique abstraite. Elle doit ce caractère à la simplicité de la force de la gravitation; il n'y a pas dans les régions célestes de résistance ni de frottement. L'astronomie est déductive; cependant, par suite des grandes difficultés mathématiques, les déductions doivent être vérifiées par des observations continues. A l'observation seule nous devons la connaissance des coefficients.

Dans l'astronomie, il y a divers problèmes qui rentrent dans les autres branches concrètes de la physique mécanique et même de la physique moléculaire; de telle sorte que le premier rang accordé à l'astronomie parmi les branches concrètes a besoin de quelques réserves. Les marées, la constitution physique du soleil et des planètes, la théorie de la chaleur et de la lumière solaire et planétaire, sont des

exemples de ces parties de l'astronomie qui se ramifient dans d'autres sciences.

Physique moléculaire.

9. Dans la physique moléculaire, les phénomènes étudiés se rapportent à l'action des molécules qui constituent la matière.

Les sujets principaux sont :

Les attractions moléculaires, — cohésion, etc. ;
La chaleur ;
La lumière ;
L'électricité.

L'axiome, la proposition élémentaire, l'induction fondamentale de la physique moléculaire, c'est que les masses de matière sont composées de particules, d'atomes, de molécules qui s'attirent ou se repoussent de diverses façons et qui sont doués de mouvements intérieurs. On a ici une proposition réelle sur la matière et non une pure répétition de sa propriété essentielle, — l'inertie. Cette proposition est éminemment hypothétique de sa nature. La seule preuve qu'on puisse invoquer en sa faveur, c'est qu'elle convient à merveille pour rendre compte des phénomènes qui tombent sous nos sens, comme, par exemple, l'état solide, liquide et gazeux des corps, la chaleur ou la température, les phénomènes de lumière et d'électricité.

NOTIONS DE PHYSIQUE MOLÉCULAIRE.

Molécule. Atome. — On considère comme un fait établi que la matière se compose de parties très-petites appelées atomes ou molécules ; jusqu'à présent, la limite de la petitesse est restée incertaine. En admettant des attractions et des répulsions entre les atomes, nous pouvons nous rendre compte des diversités de l'état solide, liquide et gazeux, et aussi des forces impondérables, comme la

chaleur, etc. Les phénomènes, néanmoins, exigent qu'on admette différentes espèces d'atomes ou de molécules : les atomes ultimes se groupent pour composer d'autres atomes, et ceux-ci, à leur tour, forment peut-être des composés plus complexes. Ainsi, les atomes de cohésion, les atomes de chaleur, les atomes chimiques, les atomes de solution et de diffusion sont considérés hypothétiquement comme distincts : on varie l'hypothèse pour rendre compte des apparences. La définition de l'atome ou de la molécule (1) est donc, par conséquent, variable et incertaine : la seule chose constante dans l'hypothèse est la supposition d'un élément très-petit, doué de puissances attractives et répulsives, grâce auxquelles se produisent les agrégats de matière.

ATTRACTIONS MOLÉCULAIRES. — PROPRIÉTÉS DE LA MATIÈRE. — Un grand nombre de notions importantes se rencontrent dans cette partie de la physique, qui discute les différentes formes d'agrégation des masses matérielles et leurs causes, réelles ou hypothétiques.

Solide. Liquide. Gaz. — Ces mots, employés pour désigner les trois états de la matière, se sont déjà présentés dans la physique mécanique et y ont été définis dans une certaine mesure. La définition complète des diverses formes de l'état solide appartient à la physique moléculaire. J'indiquerai, plus tard, quel paraît être le meilleur arrangement, le meilleur ordre de succession pour les propriétés des solides.

Cristal. — Notion opposée à celle des corps amorphes.

(1) Bien que l'adjectif *moléculaire* soit employé en opposition avec le mot *mécanique*, bien que le sens ordinaire du mot *molécule* confirme cet usage, un sens plus spécial a été récemment donné au terme *molécule*, pour le distinguer du terme *atome*. Un atome est supposé chimiquement indivisible, une molécule est la plus petite combinaison dont on admette l'existence indépendante. Ainsi un atome d'hydrogène est représenté par H ; la molécule d'hydrogène sera H H ou H₂. La molécule de phosphore ou d'arsenic est composée de quatre atomes. Tout ceci appartient à la partie hypothétique de la combinaison chimique.

Il n'est pas difficile de définir le cristal. Le fait commun est une forme géométrique régulière et constante, déterminée par les angles des surfaces planes. Une substance, par exemple, qui se présente toujours sous forme cubique ou avec des angles droits, est un cristal; une substance qui n'a pas de forme régulière ou constante, est amorphe : tel est, par exemple, le fraïsil ou la poussière de charbon. Il faut ajouter à cette notion essentielle, comme notions subsidiaires, la *surface*, l'*axe*, le *milieu*, la *causure*, et les différents systèmes de cristallisation, — cubique, tétragonal, etc., — enfin l'isomorphisme, le dimorphisme, l'allotropie.

Durété. Élasticité. Ténacité. Ductilité. Malléabilité.

— On désigne ainsi une série d'attributs importants des corps solides, auxquels correspondent des propriétés contraires : — *flexibilité, inélasticité, fragilité, inflexibilité, immalléabilité*. Toutes ces propriétés sont distinctes, quoiqu'elles aient entre elles des rapports. Elles peuvent être rigoureusement définies : on mesure leur quantité, leur degré par des preuves déterminées. La durété est le fait des substances qui ne se prêtent pas à un changement de forme. L'élasticité est le caractère des corps qui rebondissent sous une pression. La ténacité s'oppose au caractère des substances qui ne se laissent pas facilement mettre en morceaux. La ductilité est la ténacité des substances qui se laissent étirer en fil : si l'on emploie le marteau, la substance est dite malléable.

La *viscosité* est un état mou qui approche de l'état liquide. Tous les corps dont la forme peut être indéfiniment changée et qui résistent au changement avec une force proportionnelle au changement, sont appelés visqueux. (Clark Maxwell.)

La *cohésion* (attraction homogène). Elle peut être définie comme l'attraction mutuelle des particules d'une même substance, le feu, la pierre, la glace. La forme cristalline, la durété et les autres qualités déjà énumérées peuvent être considérées comme des degrés différents de la

force de cohésion. La cohésion est donc comme le résumé hypothétique des propriétés que nous avons indiquées, et ses différents degrés sont disposés de manière à représenter rigoureusement chacune de ces qualités. Un cristal doit avoir un degré particulier de cohésion : un morceau d'argile aura un autre degré de cohésion. Les limites de la cohésion sont très-bornées : lorsqu'on établit le contact de deux disques de verre, ces deux corps sont unis l'un à l'autre par une forte cohésion, mais ils ne s'attireraient pas l'un l'autre, s'ils étaient placés à quelque distance.

Adhésion (attraction hétérogène) : un phénomène très-important. On définit l'adhésion : l'attraction que les particules d'une substance exercent sur les particules d'une autre substance, comme, par exemple, lorsque la colle s'attache au bois, le mortier à la pierre, l'eau au bois. Les ciments, l'action capillaire, la solution, l'absorption des gaz, les alliages, sont autant de phénomènes qui supposent ce mode d'action. Pour énumérer tous les détails, — quelles sont les substances qui s'attirent l'une l'autre, quel est le degré de l'adhésion, — il faut un grand nombre de propositions, que l'on placera plus convenablement dans la description de chaque substance, au point de vue minéral ou chimique. Ici, on ne doit présenter que les résultats généraux.

Diffusion. Endosmose. — Ce sont des propriétés qui s'étendent au-delà de ce qui est impliqué dans la solution, et qui même anticipent sur les phénomènes chimiques. Elles sont, en outre, les conséquences immédiates du groupe des phénomènes précédents. Leur définition est une généralisation des faits que les recherches de Graham ont mis en pleine lumière.

Cristalloïde. Colloïde. Dialyse. — En étendant l'application de l'endosmose, Graham est arrivé à établir entre les corps une distinction qu'il exprime par l'antithèse des cristalloïdes et des colloïdes, dont la définition est grosse d'attributs importants : 1° Les colloïdes sont une des formes de la matière isomorphe ou non cristallisée. 2° Ils

sont inertes, au point de vue chimique; ils n'ont pas la puissance des acides ou des bases. 3^e Dans leur forme propre, ils ont des pouvoirs particuliers; comme substances molles et à demi liquides, ils laissent les autres substances se répandre dans leurs diverses parties. 4^e Plus importante encore est leur *instabilité*, la facilité avec laquelle ils passent d'un état à un autre et arrivent graduellement à la fixité et à l'immobilité des cristaux : changements pendant lesquels ils sont les principes d'un pouvoir moléculaire. Ces deux dernières particularités les disposent à jouer un rôle dans les organismes vivants, dans lesquels ils entrent largement comme éléments constitutifs : l'albumine, la fibrine, l'amidon, etc., sont des colloïdes. 5^e Les colloïdes qui se laissent pénétrer par les corps de la classe des cristalloïdes, comme le sucre et le sel, sont impénétrables les uns aux autres : loi très-importante, sur laquelle Graham a fondé sa méthode de *dialyse*, et qui explique plusieurs phénomènes intéressants.

Effusion. Diffusion. Transpiration (des gaz). — Ces phénomènes, parallèles aux précédents, se manifestent chez les gaz. Leur définition est donc analogue, mais en même temps différente, vu la nature différente des corps.

Voilà une exposition méthodique des notions principales que renferme la branche initiale de la physique moléculaire. Toutes ces notions demandent une définition rigoureuse et la distinction des propriétés qui servent à définir de celles qui sont seulement des prédicats, conformément à la méthode logique la plus exacte. Comme ces notions nous font descendre dans les profondeurs de l'action moléculaire, elles anticipent forcément sur d'autres parties de la physique moléculaire et même sur la chimie, mais il n'y a pas d'arrangement qui puisse empêcher cela. La priorité accordée à ces notions est fondée sur cette circonstance, que la force de cohésion est l'attribut inaliénable de toute espèce de matière; elle est le contre-poids du grand ensemble de forces qu'on appelle les forces corrélatives, chaleur, etc. La matière est ce que nous consta-

tons qu'elle est, d'une part, à travers l'opposition des cohésions internes, d'autre part, à travers la répulsion qui dérive des forces convertibles de l'univers. C'est comme chaleur, comme électricité, comme force chimique, que cette énergie *ab extra* lutte contre la cohésion intérieure; de la même façon que, dans le mouvement mécanique, elle combat la gravitation sur la grande échelle des mouvements mécaniques.

CHALEUR. — Il faut placer au second rang la forme typique et primitive de l'énergie moléculaire, dans le grand cercle des forces persistantes ou corrélatives. La notion fondamentale de la *chaleur* est la seule qui, dans sa définition, présente des difficultés logiques. A proprement parler, elle est une notion ultime, indéfinissable, qu'on ne peut communiquer par le langage. Elle est *subjective* : c'est son caractère essentiel. Chacun de nous doit s'en rapporter à ses propres sensations de chaleur et de froid, dans leurs différents degrés, sensations qui sont uniques en leur genre et ne peuvent être confondues avec aucune autre. Il n'y a pas non plus de difficulté à généraliser les sensations particulières pour arriver à une définition compréhensive, comme quand il s'agit de la matière et de l'inertie : celui qui a fait l'expérience de quelques changements de température les connaît tous.

Les corrélatifs physiques ou *objectifs* de cette expérience subjective, qu'on ne peut confondre avec aucune autre, sont nombreux et variés, et appartiennent à l'investigation physique. Le plus fréquent est l'augmentation de volume sous l'influence de la chaleur, et la destruction, comme on dit (la reconstruction, pour mieux dire), des masses matérielles. Un long et grand effort de généralisation a été nécessaire pour réunir toutes les manifestations de ce corrélatif physique de la sensation de la chaleur et pour embrasser le tout sous une expression unique. Même aujourd'hui, la généralisation est fondée sur une hypothèse, vraie en elle-même, mais incertaine dans sa forme, et imparfaitement adaptée à la multiplicité des phéno-

mènes de la chaleur. La chaleur, physiquement, est une forme de l'action moléculaire, qui se transforme d'après des proportions définies en mouvement mécanique, et aussi en force électrique ou chimique. Si nous définissons la chaleur dans sa phase subjective, la grande généralisation physique est un prédicat de concomitance et donne lieu à une proposition réelle. Si nous usons du fait subjectif uniquement comme d'un moyen pour arriver tout de suite au fait objectif, si nous insistons pour faire de la définition de la chaleur une définition objective, la propriété physique est alors la propriété qui définit la chaleur ; de cette définition dérivent un grand nombre d'attributs déductifs (*propria*). Il y a par suite des propositions (avec des attributs *propria*, ou des concomitants) qui affirment les rapports de la chaleur et des autres forces, et aussi les colloctions matérielles, les circonstances qui accompagnent l'échange de ces forces.

Les notions impliquées dans les divers phénomènes de la chaleur donnent les chapitres de la science ; elles sont toutes définissables par généralisation, et supposent pour être abordées des appels fréquents à l'expérience et aux faits : conductibilité, rayonnement, réflexion, absorption, diathermansie, réfraction, chaleur spécifique, chaleur latente, ébullition, évaporation, congélation, condensation, point d'ébullition, distillation, tension des vapeurs, rosée, chaleur de combinaison, équivalents caloriques.

LUMIÈRE. — C'est une question de savoir quelle place conviendrait exactement à l'étude de la lumière dans une distribution étudiée et rigoureuse des différentes parties de la physique. Sur quelques points la lumière a des rapports intimes avec la chaleur ; sa manifestation dans un corps dépend presque toujours d'un certain degré de température. D'autre part, en tant qu'elle rayonne à travers l'espace, elle n'a pas seulement de grandes ressemblances avec la chaleur, mais elle se prête aussi d'une façon remarquable aux méthodes mathématiques. De plus, comme on ne connaît encore qu'imparfaitement sa corrélation avec

les autres forces, elle n'est pas par rapport à la chaleur sur le même pied que la force électrique et chimique. Néanmoins, en raison de la transition facile par laquelle on passe de l'électricité à la chimie, nous pourrions placer la lumière à la fin de la physique moléculaire. Ou bien encore, comme la lumière a des relations étroites avec la chimie, on pourrait la placer après la chimie. Ainsi la position qu'on lui donne maintenant est due à la prépondérance accordée à l'une de ces alternatives.

La lumière, comme la chaleur, doit avoir d'abord une définition subjective, et, à ce point de vue, elle est comme la chaleur au-dessus de toute ambiguïté. Mais, comme la vue est un sens éminemment objectif, nous pouvons incorporer à la propriété subjective les particularités objectives, — rayonnement et transmission à travers l'espace, — qui se révèlent à notre sensibilité.

Nous pouvons présenter la définition ainsi : La lumière est un état distinct de notre esprit qui nous est révélé par la conscience individuelle ; à cet état s'ajoute l'expérience objective d'une émanation qui part de l'objet matériel pour aboutir à l'œil, et par laquelle nous acquérons la connaissance des propriétés caractéristiques de la matière visible.

Les notions suivantes constituent les parties essentielles de l'étude de la lumière : transparence, opacité, ombre, incidence, réfraction, indice de réfraction, lentille, image, réflexion, miroir, foyer, couleur, spectre, couleurs complémentaires, dispersion, aberration chromatique, diffraction, arc-en-ciel, double réfraction, polarisation, interférence, théorie de l'ondulation.

Au point de vue de ces différentes questions, la science de l'optique ne dépend que des mathématiques, et devrait être placée avant toutes les autres parties de la physique moléculaire. Les rapports de la lumière avec la chaleur, avec l'électricité, avec la chimie, seraient alors rattachés à des chapitres différents.

ÉLECTRICITÉ. — Comme ce mot, dans sa dénotation, embrasse les phénomènes suivants : magnétisme, électricité

voltaïque, magnéto-électricité, électricité par frottement, électro-magnétisme, thermo-électricité, il est difficile de trouver sa connotation exacte. Deux propriétés peuvent être mises en avant : 1^o la polarité ; 2^o le courant. Sur le premier point, la polarité, il y a concordance de toutes les formes de l'électricité ; par suite ce caractère est essentiel, et distingue d'une façon spéciale tous les phénomènes d'électricité. Il est vrai que nous rencontrons le phénomène ambigu, appelé par Faraday le diamagnétisme, force qui se manifeste lorsque l'aimant est mis en contact avec des cristaux et quelques autres substances, mais sans polarité, et avec une répulsion égale pour les deux pôles. Ce phénomène doit être pour le moment laissé en dehors de la définition de l'électricité qu'il dérangerait sur un point capital.

Le second caractère des forces électriques, c'est la puissance qu'elles ont d'être transportées par de bons conducteurs à n'importe quelle distance, où elles se déchargent. Dans les actions chimiques ordinaires comme la double décomposition de deux sels, les substances doivent être en contact ; mais, grâce à l'intervention de l'électricité, l'oxydation du zinc dans un vase peut produire la décomposition de l'eau dans un autre. C'est là un caractère important, dans lequel, malgré certaines modifications, se confondent toutes les forces électriques.

Ces deux caractères essentiels, en y joignant la grande loi de la conservation, sont pour le moment tout ce qu'on peut faire rentrer dans la connotation de l'électricité en général. Les différentes formes de l'électricité auront leur définition spéciale, définition qu'on obtiendra par les mêmes procédés de généralisation. Il faut aussi trouver la définition des notions subsidiaires : — Pôles magnétiques, méridiens, inclinaison, déclinaison, conductibilité, pouvoir isolant, circuit, induction, charge, décharge, tension électrique, électrolyse, électrode, etc.

PROPOSITIONS DE PHYSIQUE MOLÉCULAIRE.

Axiome de la conservation de la force. Au début de la physique moléculaire, il convient d'établir la loi de la conservation de la force, en indiquant toute sa portée, et en la donnant comme la loi générale des forces mécaniques et moléculaires. Bien qu'à cette place la loi ne puisse être exposée dans tous ses développements, il faudra cependant essayer de donner des exemples empruntés à la chaleur, à l'électricité, à la force chimique, et de montrer la conversion réciproque de toutes les formes de la force mécanique ou moléculaire. La loi de la conservation est l'axiome qui domine la physique moléculaire, la chimie, et qui atteint par delà encore le domaine de la physiologie. Elle suffit à expliquer partout l'origine de la force, ne laissant plus à chercher que les circonstances, les conditions particulières qui accompagnent la manifestation de la force dans chaque cas spécial.

Autres propositions de physique moléculaire. Les diverses notions, les propriétés essentielles ayant été clairement caractérisées, nous pouvons aisément affirmer quelle espèce de prédicat s'associe d'habitude avec elles pour constituer les propositions réelles de la science. Ainsi, par rapport à la première partie, — *attraction moléculaire* ou propriétés de la matière, d'où est exclu tout ce qui se rattache à la chaleur, à l'électricité, à la chimie, — une fois qu'on a défini l'atome ou la molécule, nous avons comme propositions réelles les affirmations suivantes : « La matière est composée d'atomes. » « Les atomes de matière s'attirent l'un l'autre. » Cette dernière proposition étant très-générale, elle embrasse beaucoup de propositions particulières, qui déterminent pour chaque substance un mode spécial d'attraction. Mais ici nous sommes perpétuellement disposés à prendre des propositions verbales pour des propositions réelles : par exemple en affirmant que les substances dures ont une cohésion atomique très-puissante. Voici, par contre, des exemples de propositions strictement

réelles : les cristaux sont des substances dures, c'est-à-dire que la cohésion des cristaux est très-intense ; les cristaux sont ordinairement cassants, ou en d'autres termes la cohésion des cristaux est faible. D'autre part, touchant l'*adhésion*, on a une généralisation inductive très-importante, à savoir que les corps d'une nature à peu près semblable sont ceux qui possèdent une adhésion mutuelle ; ainsi les métaux adhèrent dans les soudures et les alliages, les substances terreuses dans les ciments, etc. Enfin le volume diffusif d'un gaz est en raison inverse de la racine carrée de sa densité.

Il y a des propositions d'attributs coexistants, vérifiées uniquement par une concordance universelle, constatée dans toute la sphère des objets en question.

Une autre classe nombreuse de propositions du même genre exprime les rapports numériques, les proportions des attributs. Nous n'avons pas besoin d'y insister.

Les propositions sur la *chaleur* sont des propositions réelles, fondées sur la concomitance des faits subjectifs et objectifs. Elles peuvent d'ailleurs être classées sous les chefs suivants. La première classe comprend les déductions de la loi de conservation, déductions que l'expérience et l'induction viennent confirmer : telles sont les lois relatives à la *dilatation* des corps sous l'influence de la chaleur ; la fusion et l'évaporation manifestent cette dilatation. Ces lois embrassent un grand nombre de phénomènes naturels, et il faut beaucoup de propositions spéciales pour exprimer la diversité des cas que présentent les différentes substances. Une autre espèce de propositions affirme, sous des formes multiples, la grande propriété moléculaire de la *conductibilité*, propriété qui comporte des degrés numériques. Des lois importantes de dépendance ou de concomitance associent cette propriété aux qualités moléculaires des corps. Le *rayonnement* vient ensuite : c'est un fait qui se présente sous des formes géométriques. Cette partie du sujet offre un parallélisme remarquable avec les faits essentiels de l'optique. Les proportions du rayonnement des différents

corps peuvent être déterminées numériquement ; et l'on énonce sur ce point des lois dont le caractère est à la fois déductif et inductif. Un autre prédicat, c'est l'*absorption* ; des remarques semblables s'appliquent à cette propriété physique.

Pour épuiser les conséquences de la loi de conservation, il est nécessaire d'établir comment la chaleur dérive de la force mécanique (le choc ou le frottement) et des autres forces moléculaires ; et aussi dans quelles circonstances la chaleur se transforme de nouveau pour redevenir force mécanique. La façon de produire la force mécanique a été déjà exposée à propos du grand fait de la dilatation de la chaleur.

En résumé, les propositions sur la chaleur sont : 1° Des lois dérivées de la loi de conservation ; 2° des lois qui déterminent d'une façon constante ou numérique les phénomènes des différents corps ; 3° des lois qui associent les manifestations de la chaleur à la structure moléculaire des corps ; 4° des lois qui indiquent les conditions dans lesquelles la chaleur dérive des autres forces ou se transforme en ces mêmes forces, et les proportions numériques de l'équivalence.

Le résumé qui précède suffit pour donner une idée des propositions de la physique moléculaire. Si nous examinons la *lumière*, nous trouverions un ensemble de phénomènes déterminés : le rayonnement, la réfraction, la réflexion, la couleur, qui peuvent tous être déterminés dans des rapports géométriques et numériques. Nous trouverions aussi quelques cas d'attributs concomitants, comme la double réfraction et la polarisation. Les rapports de la lumière avec la chaleur et la force chimique, ne pouvant être déduits de la grande loi de la conservation, doivent être donnés comme des inductions empiriques de coexistence : quelques-unes très-générales, comme le rapport de la lumière avec la température ; quelques autres spéciales, comme dans les relations chimiques.

L'ÉLECTRICITÉ a cet avantage d'être tout à fait corrélatrice aux autres forces. Elle embrasse néanmoins une grande complexité de circonstances, qui sont les conditions de son développement sous ses diverses formes. Par suite les propositions physiques sur ce point consistent surtout à faire connaître ces dispositions ou conditions, qui sont quelquefois cachées dans les molécules des corps, et qui ne peuvent être exprimées que dans un langage hypothétique.

Comme science déductive, la physique mécanique est une branche des mathématiques appliquées; ses calculs sont d'ailleurs contrôlés et vérifiés par une perpétuelle confrontation avec les faits.

Méthodes essentielles de la physique.

10. On a vu que la physique était en partie déductive, en partie inductive. Les inductions sont surtout des inductions de causalité; dans la physique moléculaire, ce sont plutôt des inductions de coexistence. La physique fait appel aussi aux principes de la définition, surtout pour les notions élémentaires; mais elle a à peine besoin de la classification.

Comme science inductive, la physique déploie dans toutes leurs variétés les ressources et le mécanisme de l'observation et de l'expérience. Elle emploie aussi toutes les méthodes de l'élimination expérimentale. Les faits qu'elle étudie étant soumis à la grande loi de la conservation, les problèmes les plus compliqués de la physique consistent à déterminer les circonstances et les conditions dans lesquelles se développent et se transforment les différentes formes de la force. Les recherches relatives à la chaleur, à l'électricité et à la lumière, ont au plus haut degré ce caractère.

Les hypothèses de la physique sont d'excellents exemples de toutes les formes d'hypothèses que nous avons exposées. Les exemples principaux: — la théorie dynamique de la chaleur, la théorie des ondulations de la lumière, — ont

déjà été cités pour expliquer la nature des hypothèses en général. Une autre hypothèse d'une importance moindre est l'hypothèse des deux fluides électriques, hypothèse imaginée pour rendre compte des phénomènes de polarité électrique.