

PRÉCIS ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
EXPÉRIMENTALE,

PAR J.-B. BIOT,

De l'Académie des Sciences, des Sociétés royales de Londres,
d'Édimbourg, des Antiquaires d'Écosse, de la Société Philo-
mathique, des Académies de Turin, de Munich et de Wilna.

Qui tractaverunt scientias, aut empirici aut dogmatici
fuerunt. Empirici, formicæ more, congerunt tantum et
utuntur: rationales, araneorum more, telas ex se coniciunt.
Apis verò ratio media est, quæ materiam ex floribus horti
et agri elicit, sed tamen eam, propriâ facultate, vertit
ac digerit.

BACON, *Nov. Org. Lib. I. xciv.*

OUVRAGE DESTINÉ A L'ENSEIGNEMENT PUBLIC,
par Arrêté de la Commission de l'Instruction publique, en date du 22 fév^{er}. 1817.

TOME I.



A PARIS,

CHEZ DÉTERVILLE, LIBRAIRE, RUE HAUTEFEUILLE.

1817.

PRÉCIS ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE.

LIVRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Sur la Matérialité, l'Équilibre et le Mouvement.

CHAPITRE PREMIER.

Examen des propriétés par lesquelles les corps nous deviennent sensibles.

Les métaphysiciens ont donné des définitions très-diverses de la *matière* ; quelques-uns même ont douté que nous puissions avoir la certitude morale de son existence. Le physicien n'entre pas dans ces discussions. S'appuyant uniquement sur l'expérience , il appelle *corps matériels* tout ce qui produit sur nos organes un certain ensemble de sensations déterminées ; et la faculté d'exciter en nous ces diverses sensations , constitue , pour lui , autant de *propriétés* par lesquelles il reconnaît la présence des corps. Mais , parmi ces propriétés , deux seulement sont essentiellement indispensables , pour que nous ayons la sensation de la matière : ce sont l'*étendue* et l'*im-pénétrabilité* , dont la vue et le toucher sont les premiers juges.

Le caractère tiré de l'étendue est évident de lui-même. Lorsque nous voyons ou que nous touchons un corps , ce corps , ou , si l'on veut , la faculté qu'il a d'agir sur nous ,

réside dans certaines parties de l'espace, et non pas dans d'autres. Le lieu où elle réside est donc déterminé ; par cela même il est étendu.

Lorsque nous suivons les contours d'un corps par le tact, nous sentons que la matière qui le compose réside hors de nous. En général, deux portions de matière distinctes ne peuvent jamais s'identifier l'une dans l'autre, de façon que les mêmes points physiques de l'espace nous donnent à la fois la sensation de toutes deux. C'est en cela que consiste l'impénétrabilité.

Pour faire comprendre comment la réunion de cette qualité avec l'étendue est nécessaire à l'état de corps, je rapporterai un exemple où ces propriétés peuvent s'observer séparément.

Lorsqu'on place un petit objet au devant d'un miroir concave de métal poli, dont la surface est sphérique, il se forme, à quelque distance du miroir, une image fort ressemblante de l'objet, que l'on peut voir avec la plus grande netteté, en se plaçant à une distance convenable. Cette image, distincte des parties de l'espace qui l'avoisinent, est étendue, mais non pas impénétrable. Vous pouvez y plonger la main sans éprouver la moindre résistance, et les parties que vous touchez ne se déplacent pas, mais s'évanouissent à mesure. Assurément vous ne pénétreriez pas ainsi un morceau de bois ou de pierre, ou tout autre corps de ceux qu'on appelle solides. Vous pourrez même, en plaçant convenablement un second miroir, faire coïncider dans le lieu de cette même image, l'image d'un autre objet, sans que la première se déplace ou en soit nullement dérangée. Vous pourrez opérer la même coïncidence pour l'image d'un troisième objet, d'un quatrième, et d'autant que vous voudrez. Toutes ces images sont étendues, mais non impénétrables. Ce sont des *formes*, et non de la *matière sensible* ; ce mot est nécessaire, car on verra plus tard que la lumière qui détermine ces images, est elle-même composée de petites molécules matérielles d'une ténuité insensible, qui se meuvent avec une vitesse extrême, et ne font ici que passer les unes parmi les autres dans les immenses intervalles par lesquels elles sont séparées.

Ici, il devient nécessaire de rapporter quelques phénomènes fort simples, qui semblent, au premier coup-d'œil, contredire l'impénétrabilité de la matière, mais qui, examinés de plus près, ne font, au contraire, que la confirmer.

Lorsqu'on laisse tomber un corps solide, une masse d'or, par exemple, dans un fluide tel que l'eau, elle s'y enfonce et semble le pénétrer; mais elle n'a fait réellement que le séparer et déplacer ses parties; car si le vase qui renferme l'eau se termine vers le haut par un col étroit, on voit le niveau s'élever dans ce col à mesure que l'on augmente le volume du corps immergé. Il y a donc ici division et séparation, mais non pénétration intime. Il en est de même lorsque nous enfonçons un clou dans une planche, ou que nous fendons du bois avec une hache; seulement les parties de ces corps se laissent plus difficilement séparer que celles de l'eau. Il en est de même encore, si l'on enfonce le clou dans une masse de terre glaise, ou de plomb, ou d'or, dans laquelle il ne fait absolument que sa place. A la vérité, la masse ainsi percée ne se désunit pas entièrement, mais ses parties n'en sont pas moins pressées et refoulées les unes sur les autres; et si l'on extrait celles qui environnent le trou que le clou s'est fait, on y trouvera des traces sensibles de cette pression. Le clou, à son tour, peut être percé de même par l'acier, et celui-ci peut être rayé par d'autres corps.

Ceci nous apprend que les corps, même les plus durs et les plus solides, ne sont pas composés de matière absolument continue, mais de parties agrégées les unes aux autres, et placées à des distances qui, sous l'influence des causes extérieures, peuvent devenir plus grandes ou moindres. Cela explique comment la même masse de matière peut augmenter de volume par l'effet de la chaleur, et se contracter par le refroidissement; comment les molécules des sels peuvent, en se désunissant, se disséminer, et, pour ainsi dire, se perdre parmi les molécules de l'eau; comment le mercure peut s'attacher à l'or que l'on y plonge, et s'insinuer jusque dans l'intérieur de sa masse; comment enfin ces mélanges, ces dissolutions peuvent quelquefois s'opérer sans une augmenta-

tion apparente du volume total , ce volume ne se mesurant que sur la forme extérieure des corps , sans tenir compte des vides sensibles ou insensibles à nos regards , qui peuvent se trouver entre leurs parties. Il n'y a dans tout cela que séparation et mélange , sans pénétration des parties matérielles.

Cette discontinuité de la matière dans les corps se désigne généralement par le nom de *porosité* , et l'on appelle *pores* les interstices qui séparent leurs particules. La *porosité* paraît être une propriété *générale* et commune à tous les corps que la nature nous présente , quoiqu'elle ne soit pas inhérente à l'essence de la matière , puisque nous pourrions concevoir des corps sensibles où elle n'existerait pas.

En s'accordant à regarder ainsi les masses des corps naturels comme composés de parties plus petites qui constituent leur essence , on peut se demander quelle est la forme et la grosseur de ces parties. Il paraît que cette grosseur est extrêmement petite. Quelque division que l'on fasse subir à l'or , par exemple , en le tirant , le filant , le laminant , les plus petites parcelles conservent toujours toutes les propriétés que présentait la masse entière. Les corps cristallisés , réduits en poussière presque impalpable , étant regardés au microscope , montrent encore les mêmes formes et les mêmes angles qui caractérisaient la masse totale du cristal. On a des exemples d'une division plus grande encore dans les odeurs , qui ne sont que des sensations produites par les particules invisibles et impalpables des corps odorans. Tout nous prouve qu'un corps , sans changer de nature , sans cesser d'être identique avec les plus grosses masses , peut être ainsi divisé en parties dont la petitesse échappe à nos sens et presque à notre imagination.

Les métaphysiciens et les physiciens même ont beaucoup discuté entre eux , si cette divisibilité de la matière était ou n'était pas possible à l'infini. C'est une pure question de mots. Si l'on veut parler d'une divisibilité abstraite et géométrique , il n'y a aucun doute qu'elle ne s'étende indéfiniment ; car , quelque infiniment petite que l'on suppose une particule , par cela seul qu'elle sera étendue , on pourra toujours conce-

voir son étendue divisée en deux moitiés, chacune de celle-ci en deux autres, et ainsi de suite à l'infini : mais si l'on veut parler d'une divisibilité réelle et physique, nous ne pouvons rien prononcer d'absolu. Il paraît néanmoins, par les résultats, que, sur notre globe, les molécules matérielles ne se brisent point, ni ne s'altèrent, ni ne se transmutent les unes dans les autres. Car, quelque opération chimique qu'on leur fasse subir, quelles que soient les combinaisons où on les engage, et les assimilations qu'on leur fasse éprouver de la part des corps vivans, elles en sortent toujours avec leurs propriétés originelles. La variété infinie d'actions de ce genre qui ont agi sur elles depuis que le monde existe, paraît n'avoir produit aucune altération dans ces propriétés.

Mais comment un pareil système de particules peut-il exister agrégé en forme de masses solides et résistantes, comme nous voyons que le sont un grand nombre de corps, et tous même, quand ils sont convenablement éprouvés ? on verra, dans cet ouvrage, que cet état est produit et mainténu par des forces naturelles dont toutes les particules des corps sont animées, et qui les font tendre mutuellement les unes vers les autres, *comme par attraction*. Mais si ces forces existaient seules, les particules s'approcheraient jusqu'au contact, c'est-à-dire, jusqu'à ce qu'elles fussent arrêtés par l'impénétrabilité de leurs parties; ce qui est contraire à cette possibilité d'éloignement et de rapprochement qu'elles conservent dans les corps. Aussi trouverons-nous qu'il existe une cause générale de répulsion intérieure, par laquelle toutes les forces attractives sont continuellement balancées. Cette cause, qui réside dans tous les corps de la nature, paraît être produite par le principe de la chaleur. Les particules de chaque corps, sollicitées à la fois par ces deux genres de forces contraires, se mettent naturellement dans l'état d'équilibre qui résulte de leurs énergies compensées, et se rapprochent ou s'écartent, selon que les forces extérieures auxquelles on les expose, favorisent l'attraction ou la répulsion. C'est ainsi que les astres qui composent notre système planétaire, se meuvent et oscillent continuellement

dans les ellipticités variables de leurs orbites , sans que le système se détruise , et que l'équilibre général soit rompu. De ces divers états d'équilibre des corps , résultent , comme nous le verrons par la suite , toutes les propriétés secondaires et variables , telles que *l'état aériforme , la liquidité , la solidité , la cristallisation , la dureté , l'élasticité , etc.*

Dans tous ces phénomènes , les molécules matérielles se comportent comme autant de masses absolument *inertes* , c'est-à-dire dépourvues de toute espèce de spontanéité. Elles peuvent être mues , déplacées , arrêtées , par des causes extérieures étrangères à elles-mêmes , mais jamais , nous n'y pouvons découvrir aucune trace d'une volonté propre et libre. Si la bille qui roule sur le tapis d'un billard , en vertu de l'impulsion qu'on lui a donnée , ralentit peu à peu la vitesse de son mouvement et enfin s'arrête , c'est uniquement l'effet de la continuelle résistance que lui opposent les aspérités du drap sur lequel elle frotte , et les molécules de l'air à travers lequel elle se meut. Rendez le drap plus doux , la même impulsion fera mouvoir plus long-temps la bille ; substituez-y un plan de marbre poli , et des bandes formées par des fils métalliques tendus dont l'élasticité soit plus parfaite , la durée du mouvement deviendra incomparablement plus grande , ce qui indique qu'elle serait indéfinie , si les obstacles étaient tout-à-fait ôtés. La pierre que nous lançons du haut d'une tour , et qui , sollicitée en même temps par cette impulsion , et par la pesanteur , va tomber à une certaine distance , use de même progressivement sa vitesse horizontale en la partageant avec les molécules d'air qu'elle choque , et les refoulant les unes sur les autres ; mais concevez que cet air n'existât point , et que la force de l'impulsion fût assez énergique pour éloigner la pierre de la terre par son mouvement tangentiel autant que la pesanteur tend à la faire descendre à chaque instant , la pierre alors , décrirait un cercle autour de la terre , et comme rien ne l'arrêterait dans son cours , elle circulerait ainsi éternellement. C'est là en effet ce qui arrive à la lune , que nous savons se mouvoir dans le vide autour de la terre , et nous voyons éga-

lement se perpétuer les mouvemens des autres corps planétaires qui parcourent de même un espace dépourvu de toute matière résistante. Tout nous porte donc à croire que la matière ne peut par elle-même se donner ni s'ôter le mouvement ou le repos , et qu'une fois dans l'un ou l'autre de ces états , elle y persévérerait éternellement , si aucune cause étrangère ne venait agir sur elle. Cette indifférence , ce défaut de spontanéité , a reçu le nom d'*inertie*. Une seule classe de corps semble y faire exception , ce sont ceux des êtres que l'on appelle animés , qui se meuvent ou s'arrêtent par l'effet d'une volonté intérieure ; mais dans ceux-là encore , les molécules matérielles qui composent leurs parties , et leurs parties mêmes sont absolument inertes. C'est leur ensemble qui possède la qualité d'être animé ; séparées , elles ne vivent plus , et rentrent dans les lois ordinaires de tous les autres corps. Nous sommes dans une obscurité absolue sur la cause de cette différence , et nous ignorons complètement ce qui détermine l'état de vie ; mais voyant dans toutes les autres circonstances la matière dépourvue de spontanéité , et reconnaissant que , même dans les êtres vivans , elle perd encore cette faculté par la mort et par le sommeil , nous sommes conduits à la regarder comme étrangère à son essence , et ramenant ce cas aux lois ordinaires , nous concevons la volonté des êtres animés comme l'acte d'un principe intérieur et immatériel qui réside en eux. A la vérité , nous ne pouvons pas dire dans quelle de leurs parties ce principe réside , ni en quoi il consiste , encore moins comment , immatériel , il peut agir sur la matière ; mais pour peu que nous ayons réfléchi sur nous-mêmes , et que nous ayons observé avec quelque attention les œuvres de la nature , ces obscurités malheureusement trop ordinaires où nous laisse l'imperfection de nos connaissances ne doivent jamais être pour nous le fondement d'une objection contre l'essence des choses que nous sommes toujours réduits à ignorer. Ainsi nous agissons philosophiquement dans cette circonstance comme dans toute autre , en nous rapprochant des analogies , et en faisant dépendre le mouvement des corps

animés d'une cause étrangère à leur matière, puisque nous trouvons la manière inerte dans tous les autres cas où nous pouvons l'éprouver. On apporte encore, dans les écoles de philosophie, une autre raison pour attribuer la spontanéité à un principe immatériel : c'est que la volonté, par la nature même de ses actes, ne peut émaner que d'un être simple, et par conséquent, ne peut pas appartenir à un être essentiellement composé ou au moins divisible et décomposable comme la matière; mais ce motif métaphysique sortant de nos considérations ordinaires, nous nous bornerons à l'énoncer; pour toutes les recherches expérimentales, il nous suffira d'admettre l'immatérialité du principe de la volonté comme une distinction fondée sur l'analogie, et *l'inertie* de la matière comme une propriété générale dans l'état actuel de l'univers.

L'expérience fait découvrir encore dans la matière plusieurs autres propriétés également accidentelles, c'est-à-dire, qui semblent n'être pas absolument indispensables pour que les corps matériels se manifestent à nos sens, mais dont cependant la simultanéité avec les conditions primitives de la matérialité est très-importante à connaître, parce qu'elle supplée à celle-ci dans un grand nombre de circonstances où elles deviennent impossibles à observer. Telle est, par exemple, *la pesanteur*. Parmi les corps naturels, que l'on peut voir et toucher, on n'en trouve absolument aucun qui ne soit pesant, c'est-à-dire, qui ne tende à tomber vers le centre de la terre, quand on l'abandonne à lui-même. Puis donc que ces propriétés s'accompagnent toujours, la présence de l'une nous suffit pour juger par induction que les autres existent. Ainsi, quoique nous ne puissions ni voir ni toucher l'air, comme nous voyons et touchons les autres corps, cependant nous jugeons que c'est une substance matérielle, parce qu'il est pesant, coercible dans des vases, et qu'il produit beaucoup d'autres phénomènes, tous pareils à ceux qu'un fluide pesant doit produire. L'examen approfondi de ces propriétés nous apprend ensuite qu'il existe des airs d'espèces très-diverses, qui sont tous au-

tant de substances essentiellement distinctes les unes des autres par les actions qu'ils font éprouver aux autres corps, et par celles que ceux-ci exercent sur eux.

L'attraction est encore une de ces propriétés contingentes qui supplée aux témoignages immédiats des sens. J'ai dit plus haut que les particules de tous les corps connus agissaient les unes sur les autres par des forces attractives et répulsives ; réciproquement, quand on peut démontrer l'existence ou l'action de ces forces dans un principe inconnu, on en conclut que ce principe est matériel. Ainsi, *la lumière* n'est pas tangible ; on ne peut y reconnaître l'étendue ; elle n'est point pondérable, du moins à nos balances ; elle est si subtile qu'elle échappe à tous les moyens par lesquels nos sens pourraient la saisir. Mais en lui faisant traverser des corps transparents, nous trouvons qu'elle se plie et se courbe dans son trajet à travers ces corps, précisément comme si elle était repoussée par une force émanée de leur surface, et attirée, au contraire, dans leur intérieur par les molécules qui les composent. Nous savons aussi qu'elle emploie un certain temps, très-petit, mais mesurable, à se transmettre des corps lumineux jusqu'à nous. Enfin, en soumettant ses rayons à certaines épreuves, nous trouvons que les corps transparents les attirent et les repoussent autrement par certains côtés que par d'autres. Cet ensemble de propriétés nous porte à conclure que la lumière est une substance matérielle, composée de particules extrêmement petites, dont la forme est symétrique par certaines faces qui sont susceptibles d'attraction et de répulsions particulières ; et enfin qui se meuvent dans le vide ou dans les corps transparents avec une vitesse donnée et déterminable.

Il est encore d'autres principes qui agissent sur les corps matériels, sans être ni visibles, ni tangibles, ni pondérables à aucune balance, qui même, jusqu'à présent, n'offrent pas, à beaucoup près, autant de caractères matériels que la lumière, et que l'on a cependant lieu de croire aussi des corps. Tels sont les principes inconnus des deux *électricités* que l'on appelle résineuse et vitrée. Rien jusqu'ici d'absolument ma-

tériel n'a été démontré dans ces principes, rien du moins qui ne soit explicable sans matérialité. A la vérité, ils s'attirent et se repoussent mutuellement, mais c'est entre eux-mêmes uniquement que cette action s'exerce : les autres corps n'exercent sur eux aucune espèce de force, ni attractive, ni répulsive. Néanmoins dans leur distribution sur ces corps, et dans leurs irruptions de l'un à l'autre à travers les obstacles qui les séparent, ces principes se comportent d'une manière si exactement conforme aux lois ordinaires de la mécanique des fluides, qu'on peut, en les leur appliquant, calculer d'avance, avec la dernière précision, les moindres détails des phénomènes. De là il devient très-vraisemblable qu'ils consistent réellement dans de pareils fluides, et qu'ils sont par conséquent matériels. Les mêmes probabilités s'appliquent aussi aux deux principes *magnétiques*, que l'on peut développer dans divers métaux.

On a moins de données encore sur la matérialité du principe de *la chaleur*. Non-seulement il manque, comme les précédens, des propriétés sensibles qui caractérisent la matière, mais encore les lois de son mouvement, de son équilibre n'étant point complètement connues, on ne peut pas même lui appliquer de semblables probabilités. En le suivant par les expériences, on le voit se répandre dans les corps, passer de l'un à l'autre, s'y fixer, s'en dégager, modifier la disposition, les distances, les propriétés attractives de leurs particules. Mais rien de tout cela ne démontre invinciblement que ce principe soit lui-même un corps. Le plus fort indice que nous en ayons peut-être, consiste dans quelques analogies récemment découvertes entre les propriétés rayonnantes de la chaleur et de la lumière, qui tendent à faire croire que l'un de ces principes peut graduellement se changer dans l'autre, c'est-à-dire, acquérir ou perdre successivement les modifications avec lesquelles ils produisent en nous la sensation de la vision ou de la chaleur. Le développement de ces analogies est un objet de recherche des plus importants.

Ce sont là les seuls principes actifs qui nous paraissent dé-

terminer les phénomènes naturels; mais il est fort possible qu'il en existe beaucoup d'autres dont la subtilité échappe à nos procédés actuels d'expérience. C'est en perfectionnant ces procédés, en leur donnant plus de précision, en cherchant et inventant des indicateurs plus sensibles, que nous parviendrons à étendre notre pouvoir sur les agens naturels, qu'à découvrir ceux qui nous ont pu être jusqu'à présent cachés.

L'objet principal de la physique est de constater par des expériences exactes, et de représenter par des lois générales, les modifications accidentelles et passagères qui peuvent être produites dans les corps matériels par les divers principes que nous venons de désigner; car ces modifications, sans dénaturer les corps qu'elles affectent, changeant néanmoins presque toujours les actions qu'ils peuvent exercer entre eux et sur les autres substances, il faut nécessairement les déterminer et les mesurer avant de porter ses regards sur les phénomènes de composition et de décomposition auxquels l'action réciproque des corps peut donner lieu. C'est ainsi que l'étude de la physique est utile à la chimie, à la médecine, à la physiologie, soit végétale, soit animale, et doit nécessairement les précéder.

CHAPITRE II.

Notions fondamentales : espace, repos, mouvement, force.

On vient de voir dans le précédent chapitre que tous les corps d'une étendue sensible, dont la matérialité peut être immédiatement constatée, consistent dans le groupement d'une multitude de particules matérielles extrêmement petites, dont le seul mode d'agrégation divers, fait que le corps est solide, liquide, ou gazeux. Nous avons aussi exposé les motifs qui doivent nous faire considérer ces particules comme des masses inertes, incapables de se modifier sponta-

nément elles-mêmes, et susceptibles seulement d'obéir aux causes extérieures qui peuvent les solliciter; soit qu'en effet, comme les observations l'indiquent, le défaut de volonté et de spontanéité forme un caractère général et essentiel de la matière, soit que par une abstraction de notre esprit, nous lui ôtions ces propriétés si quelquefois elles sont unies avec elles, pour considérer isolément l'ensemble de celles qui lui restent après qu'elle en est dépouillée. Or, les molécules matérielles étant ainsi envisagées dans l'état inerte, il en résulte dans les phénomènes que leur agrégation présente, certaines conditions nécessaires qui s'appliquent à tous les corps, indépendamment de la nature chimique de leurs parties constituantes, comme étant de simples conséquences de leur matérialité. Telles sont les *lois générales de l'équilibre et du mouvement* que l'on déduit en effet mathématiquement de la seule propriété de l'inertie. Quoique cette déduction ne puisse être démontrée ici, étant fondée toute entière sur le calcul, nous devons néanmoins en énoncer les résultats principaux. Car, d'après ce qui vient d'être dit, on sent qu'ils doivent être d'une application constante et universelle dans l'étude des phénomènes naturels.

Mais pour cet énoncé, si simple qu'il puisse être, il nous faut arrêter avec précision certaines idées fondamentales telles que celles de repos, mouvement, force; nous avons à la vérité déjà employé ces expressions, comme faisant partie de l'usage ordinaire, il devient à présent nécessaire de leur donner pour toujours un sens fixe et assuré. Commençons par définir le lieu où les phénomènes se produisent. Pour cela, concevons un espace sans bornes, immatériel, immuable, et dont toutes les parties semblables entre elles, soient librement pénétrables à la matière. Qu'il existe ou non dans la nature un pareil espace, peu nous importe; il figure seulement pour nous l'étendue abstraite. Plaçons-y les molécules, éléments matériels des corps, et considérons d'abord en elles le seul fait de leur existence. Ce simple fait sera susceptible de deux modifications distinctes; il se pourra que la même molécule persiste invariablement dans son lieu actuel, ou que, par l'in-

fluence de causes extérieures, elle le quitte pour passer dans quelque autre partie de l'espace. Le premier de ces deux états constitue le *repos absolu*, le second, le *mouvement*.

Mais nous pouvons concevoir encore que deux ou plusieurs molécules soient déplacées simultanément d'un mouvement commun, en gardant l'une à l'égard de l'autre, leurs positions respectives. Alors, si on les considère dans leurs rapports avec l'espace immuable, elles seront réellement en mouvement absolu; mais si on les considère uniquement dans leurs rapports mutuels, ceux-ci resteront les mêmes que si le groupe entier était demeuré en repos; et s'il existait sur une d'elles un être intelligent qui observât toutes les autres, il ne pourrait, d'après cette observation seule, décider si le système total **se meut ou ne se meut pas**. Cette permanence de relations au milieu d'un mouvement commun, s'exprime par la dénomination de *repos relatif*. Tel serait le cas de plusieurs corps que l'on concevrait posés dans un bateau abandonné au cours d'une rivière tranquille. Tel est encore le cas de tous les corps terrestres lorsqu'ils restent invariablement fixés au même point du sol. Ils sont en repos entre eux; mais la terre, qui tourne journallement sur elle-même, leur imprime une rotation commune, et en même temps, elle les emporte tous ensemble dans son orbite autour du soleil, lequel peut-être emporte à son tour la terre et tout le cortège des planètes vers quelque constellation éloignée. Le repos relatif est donc vraisemblablement le seul qui existe en effet dans ce système. C'est du moins le seul que nous puissions être assurés d'y observer.

Ceci nous conduit à faire une spécification analogue pour le mouvement, et à distinguer les *mouvements absolus* des corps, considérés relativement à l'espace immuable, d'avec les **changemens de position relative** qui peuvent survenir entre eux. Ces derniers se nommeront donc des *mouvements relatifs*; soit que celui des corps du système auquel on les rapporte se trouve lui-même en mouvement ou en repos. Par exemple les variations de position des astres telles que nous les apercevons de la surface terrestre, ne sont pas des mouvements

absolus, mais relatifs, parce que la terre à laquelle nous les rapportons comme à un centre fixe, a réellement un mouvement de rotation diurne, et un mouvement annuel de circulation autour du soleil. Même lorsque par le calcul, nous avons conclu de ces observations les mouvemens réels des astres tels qu'on les verrait du centre du soleil, nous ne saurions encore affirmer que ce soient là les mouvemens absolus, parce qu'il se peut que le soleil et tout notre système planétaire se déplacent ensemble dans l'espace.

D'après l'idée que l'expérience nous a donnée de l'inertie, nous devons envisager l'état de mouvement et celui de repos comme de simples accidens de la matière, qu'elle ne peut passer donner à elle-même, et qu'elle ne peut pas changer une fois qu'elle les a reçus. Conséquemment, lorsque nous la voyons passer d'un de ces états à l'autre, nous devons concevoir ce changement comme produit et déterminé par l'action de causes extérieures. Ces causes, quelles qu'elles puissent être, se désignent généralement par le nom de *forces*. La nature nous en offre une infinité qui sont, au moins en apparence, de différentes espèces. Telles sont les forces produites par les muscles et les organes des animaux vivans, dont l'exercice dépend, pour la plupart, uniquement de leur volonté. Telles sont encore celles que produisent les agens physiques, comme l'expansion des corps par la chaleur, leur condensation par le refroidissement, etc. Il y en a d'autres qui semblent inhérentes à certains corps, telles que l'attraction de l'aimant pour le fer et celle qui s'exerce entre les corps électrisés. Ce sont encore des forces du même genre qui produisent la chute des corps vers le centre de la terre, les affinités chimiques et la circulation des planètes autour du soleil. On ignore absolument la nature intime de ce genre de forces, et l'on ne saurait décider si elles sont étrangères à la matière ou propres et attachées à son essence; néanmoins il est utile et philosophique de les en séparer par la pensée, afin de n'avoir plus à considérer dans la nature physique que des masses inertes sollicitées par des causes de mouvemens.

On caractérise et on définit chaque force d'après les circons-

tances particulières à son mode d'action. Il faut d'abord assigner le point matériel auquel elle est appliquée, et la *direction* suivant laquelle elle s'exerce. Il faut ensuite faire connaître son énergie, ou suivant l'expression technique, son *intensité*. A cet effet, on choisit arbitrairement une certaine force dont on prend l'intensité pour unité, et on exprime par 1 celle de toute force égale à celle-là, c'est-à-dire, qui, étant appliquée en sens contraire au même point matériel, détruirait exactement l'effort de la première. On conçoit ensuite deux ou plusieurs forces pareilles agissant ensemble et dans un même sens sur un même point matériel, et l'on dit que la force composée qui en résulte a une intensité double, triple, quadruple ou, en général, multiple de la première, selon le nombre de ces forces dont elle est formée, de sorte que les intensités se trouvent exprimées par ce nombre; ou si l'on veut, on peut aussi les représenter par des lignes droites de diverses grandeurs, suivant les rapports que les nombres indiquent. Il est vrai que pour réaliser ces comparaisons, il faut savoir déterminer, pour chaque force, le rapport de son intensité avec l'énergie des mouvemens qu'elle est capable d'imprimer à un même corps. Nous considérerons plus tard cette nouvelle question; mais en attendant, la seule définition du rapport des forces et de leurs intensités relatives, suffit pour fixer plusieurs lois générales qui s'observent constamment dans leur concours.

Enfin, pour achever de définir une force, il faut faire connaître si son action est subite et instantanée comme un simple choc qui ne se répète point, ou si elle est réitérée et durable comme la pesanteur qui, ainsi qu'on le verra par la suite, continue d'agir sur le corps qui tombe avec autant d'énergie que lorsqu'il commence à se mouvoir. Ce second mode d'action peut évidemment se ramener au premier, en substituant à la continuité de la force une succession d'actions séparées les unes des autres par des intervalles de temps insensibles, et toutes égales entre elles, si l'énergie de la force qu'il faut représenter est constante, ou progressivement variable d'intensité, si celle de cette force varie. Par

cet artifice , qui n'ôte rien à la rigueur des conséquences , on n'a plus à considérer que l'effet d'impulsions subites imprimées à des molécules matérielles absolument inertes , soit en repos , soit en mouvement.

CHAPITRE III.

De l'équilibre produit par la composition de plusieurs forces appliquées à un même point matériel.

LORSQU'UNE seule force est appliquée à un point matériel libre , il est évident que ce point , en vertu de son inertie , doit se mouvoir suivant la direction de la force et sur son prolongement. Mais lorsque plusieurs forces agiront simultanément sur un même point matériel , ou sur un système de pareils points , il se présente deux cas qu'il est nécessaire de distinguer. Il est possible que l'ensemble des forces agissantes , communique des mouvemens au système , mais il peut arriver aussi que leurs efforts s'entredétruisent , et alors le système restera en repos. Le repos produit ainsi par la compensation de plusieurs forces actives , se désigne par le nom d'*équilibre* , pour le distinguer du repos inerte produit par l'absence de toute force motrice , quoique l'un et l'autre ne diffèrent en rien quant aux apparences.

Le cas le plus simple de l'équilibre est celui de deux forces égales et appliquées dans des directions opposées à un même point matériel. Ce point se trouvant ainsi poussé avec une énergie égale en deux sens contraires , restera évidemment en repos. Mais si les deux forces sont inégales en intensité , il se mouvra dans le sens de la plus énergique , comme s'il était uniquement sollicité par leur différence.

Le cas de l'opposition directe est le seul où deux forces , même égales , puissent se faire mutuellement équilibre. Dès que leurs directions font entre elles un certain angle , leurs efforts conspirent en partie , et le point matériel qu'elles sollicitent se met en mouvement dans un certain sens qu'il s'agit de déterminer. Pour cela , commençons par le cas simple