

L'alliance de l'esprit avec le mécanisme corporel a été constatée de même chez tous les animaux d'aujourd'hui ou d'autrefois.

Les coexistences mentionnées ci-dessus, relativement aux propriétés du poids spécifique des gaz, du poids atomique, et de la chaleur spécifique, ont été vérifiées par la méthode qui constate l'uniformité dans toute l'étendue de la nature. Il est impossible ici, comme on le fait pour le rapport de causalité, de conclure d'un certain nombre d'expériences à toutes les autres.

6. Les coexistences spéciales, desquelles dérivent les espèces naturelles, doivent aussi être vérifiées par l'uniformité constatée dans tous les exemples possibles.

Nous avons déjà remarqué qu'une exception, qui dérive de ce que la propriété essentielle d'une espèce vient à manquer, ne détruit pas l'uniformité précédemment constatée, mais nous autorise seulement à admettre une nouvelle espèce. Le seul cas où il faille prouver la coexistence est le cas des propriétés concomitantes, ou de celles qui ne sont pas comprises dans l'essence ou la connotation de l'espèce. Telles sont la couleur noire de la corneille, la couleur blanche du cygne, et généralement les changements de couleur. En effet la couleur est rarement considérée comme essentielle, chez les minéraux, les animaux et les plantes. Ajoutons que la seule preuve de cette affirmation : « Toute corneille est noire, » consiste à observer qu'il en est ainsi dans toute l'étendue de la nature ; tant que nous n'aurons pas trouvé de corneille d'une autre couleur, nous aurons le droit de maintenir cette proposition. La découverte de différentes espèces d'*albinos* a contredit cette affirmation générale et l'a réduite à une généralisation approximative, dont la probabilité est très-grande.

CHAPITRE IV

LOI DE CAUSALITÉ

1. Les uniformités de succession, constatées dans l'univers, dépendent d'une uniformité générale, — la loi de causalité.

Cette loi peut être exprimée ainsi : — Dans tout changement, il y a une liaison uniforme entre les antécédents et les conséquents.

Il est difficile de résumer en une seule expression la signification entière de la loi de cause et d'effet. Lorsqu'on dit : « Tout effet a sa cause, et toute cause son effet, » lorsqu'on ajoute comme conséquence régulière : « Les mêmes causes produisent les mêmes effets, » on ne fait guère qu'exposer des affirmations identiques. Le mot *cause* en effet veut dire ce qui produit un effet ; le mot *effet*, ce qui dérive d'une cause. Pour échapper à cette difficulté, nous exprimerons la loi comme il suit : « Toute chose qui arrive est définitivement et uniformément liée à une chose, ou à des choses antérieures : si cet antécédent se produit, elle se produit ; s'il manque, elle manque aussi. » Le feu dérive régulièrement de deux choses : l'accumulation d'un amas de combustibles, et le contact d'une allumette.

On établit, avec plus de précision encore, le sens d'une loi quelconque, en déterminant ce qu'elle nie. Or la loi de causalité est la négation de deux choses :

1° Elle nie la possibilité d'un commencement absolument

spontané. Si cette loi est vraie en effet, aucun changement ne peut se produire dans le vide ou dans le repos absolu; il doit y avoir toujours quelque événement antérieur, quelque changement, quelque mouvement, quelque chose enfin, qui est la condition *sine qua non* du phénomène nouveau. Le feu ne s'allumera jamais sans une circonstance qui détermine ce mouvement, changement ou action.

2° La loi de causalité nie en second lieu que les événements dérivent les uns des autres sans règle, sans raison, et par pur caprice. Les circonstances qui ont déterminé le feu à s'allumer aujourd'hui, le détermineront encore à s'allumer demain, si elles se renouvellent, et l'y détermineront encore les jours suivants. La même douleur ne saurait, dans les mêmes circonstances, tantôt nous rebuter, tantôt nous charmer et nous attirer. En un mot, la loi de causalité veut que les événements se succèdent avec une parfaite uniformité.

2. Dans la causalité, les mêmes causes produisent toujours les mêmes effets. Mais la réciproque n'est point vraie. Le même effet n'est pas toujours produit par les mêmes causes. Il peut y avoir plusieurs causes qui produisent le même effet.

Un coup violent porté à la tête produira toujours la mort, mais la mort n'est que rarement l'effet d'un coup à la tête. De même le mouvement dérive de plusieurs causes, et la présence de l'une ou de l'autre de ces causes, dans des circonstances déterminées, sera toujours suivie d'un mouvement.

C'est là une limitation importante de la loi de causalité; limitation dont il faut tenir compte dans la recherche des causes. Si un changement se produit, il doit y avoir un changement antérieur, un fait préalable qui s'est produit dans la cause, mais il n'est pas nécessaire qu'il n'y ait qu'un seul antécédent particulier.

3. La pluralité des causes est elle-même assujettie à la loi de l'uniformité, à deux points de vue: 1° Le nombre des causes est déterminé; 2° Le caractère de chaque cause est défini comme s'il s'agissait d'une cause unique.

Les causes qui entraînent la mort sont nombreuses, mais elles sont toutes déterminées; elles peuvent être connues; elles peuvent être définies avec certitude et précision. La possibilité de plusieurs causes donne à la production d'un événement un caractère ambigu; il y a alors plusieurs antécédents possibles. Cependant, lorsqu'on a une fois déterminé le nombre exact des antécédents possibles, on est assuré que l'effet actuel est le résultat de l'une ou de l'autre de ces circonstances.

On montrera plus loin que la multiplicité des causes est plutôt la conséquence accidentelle de l'imperfection de nos connaissances que le résultat nécessaire de la nature des causes. A mesure que nous étendons nos connaissances, nous trouvons un moins grand nombre de causes. La multiplicité des causes du mouvement, par exemple, n'est qu'une apparence superficielle; au fond ces causes se réduisent à une seule.

4. La causalité peut être considérée à trois points de vue différents.

1° D'abord on peut considérer la causalité sous son aspect *pratique* et populaire. — c'est là un point de vue partiel, approprié aux besoins ordinaires de la vie. Par exemple, un soldat, le soir d'une bataille, reçoit l'ordre de tenir sa poudre sèche; ce n'est certes pas la seule cause qui lui garantisse la chance d'atteindre l'ennemi; mais c'est une circonstance importante qui risquerait d'être négligée, si le soldat n'était pas averti.

2° A un second point de vue, nous trouvons la considération scientifique et complète de la causalité. Ici, toutes les conditions, toutes les circonstances antérieures, sont dénombrées exactement.

3° Enfin, au troisième point de vue, la causalité repré-

sente la loi toute moderne, qu'on intitule la conservation ou la corrélation de la forme.

La causalité au point de vue pratique.

5. Dans le langage commun, la cause d'un événement, n'est pas autre chose qu'une circonstance choisie dans un ensemble de conditions, et qui semble être pratiquement le point essentiel.

Un homme glisse sur une échelle, il tombe, il se tue. La cause de cet accident, c'est, dit-on, qu'il a glissé. Si cette circonstance avait été évitée, l'effet ne se serait pas produit. Cependant, pour déterminer un pareil résultat, beaucoup d'autres conditions étaient nécessaires : — d'abord la pesanteur du corps, puis l'élévation et la hauteur de la chute, enfin la fragilité de notre corps. Mais, dans un but pratique, nous laissons de côté, pour le moment, toutes les conditions qui sont indépendantes de notre volonté, et nous ne faisons attention qu'à celles qui dépendent de nous et qui réclament notre attention. Par un sous-entendu tout naturel, nous passons sous silence toutes les circonstances qui sont fixées et déterminées par la nature. Nous considérons comme préalablement admises les forces de la chaleur et de la pesanteur, et nous cherchons seulement à choisir et à déterminer les circonstances par lesquelles ces forces peuvent contribuer au but qui nous intéresse.

Lorsque nous disons que la nourriture est la cause de la force des animaux, nous supposons une constitution saine, capable de digérer et d'assimiler les aliments. Mais dans ce cas particulier l'humanité s'est longtemps trompée, en omettant, par ignorance, une condition de la vie non moins

essentielle que la nourriture, à savoir, l'oxygène de l'air, l'élément aérien de notre subsistance (1).

Le langage s'adapte le plus souvent à cette façon superficielle de considérer la causalité. Dans la distinction générale de l'être qui agit, et de la chose qui subit l'action, distinction qui domine toute la grammaire, et qui donne aux verbes actifs leur caractère spécial, il y a toujours un choix arbitraire qui porte sur une circonstance, sur une cause particulière, en laissant de côté toutes les autres circonstances qui sont également indispensables. On élève, par exemple, un bœuf dans une écurie; l'éleveur sera désigné, par politesse, comme la cause, l'agent des résultats obtenus, et cependant son travail a beau être une circonstance indispensable à la production de l'effet : il n'est qu'une partie des causes agissantes. Un professeur instruit un élève : il passera pour l'auteur de toutes les connaissances de l'élève. Une ellipse encore plus remarquable est celle que l'on pratique quand on attribue à l'action du commandant en chef le succès d'une guerre : lorsque nous parlons, par exemple, des conquêtes d'Alexandre et de César. « Le moine qui a ébranlé le monde, » est une phrase de rhétorique, employée pour représenter l'œuvre de Luther.

Le premier effort tenté pour analyser avec précision la causalité est dû à Aristote. Ce philosophe énumère quatre espèces de causes : la cause matérielle, la cause formelle, la cause efficiente, la cause finale. La cause *matérielle* est

1. Lorsque l'existence ou le salut d'un être dépend d'un ensemble ou d'un système de moyens adaptés à une même fin, — moyens qui sont tous ensemble nécessaires à la conservation de cet être, — dans ce cas la destruction, le changement, l'éloignement d'un seul de ces moyens, l'absence d'une partie de ce système complexe de puissances protectrices, est regardé comme la cause qui entraîne la ruine du tout. Si par exemple l'action d'un des organes nécessaires de la vie est suspendue, la vie est détruite; et les circonstances qui ont produit cet effet passent pour être la cause de la mort. Si un navire fait une voie d'eau, ou si une armée est surprise en l'absence d'une sentinelle, — la voie d'eau, l'absence de la sentinelle sont considérées comme les causes de la perte du vaisseau ou de l'armée. Le langage par lequel on attribue un tel effet à une cause purement négative est un langage elliptique. (G.-C. Lewis.)

littéralement la matière dont on se sert dans une construction : le marbre ou le bronze, voilà la cause matérielle de la statue. La cause *formelle*, c'est la forme, le type, le modèle que l'artiste conçoit dans son esprit : par exemple, l'idée ou le plan imaginé par un sculpteur. Le plan d'un architecte, voilà la cause formelle d'un édifice. La cause *efficiente*, c'est le pouvoir actif qui produit l'œuvre : par exemple, l'énergie manuelle ou l'habileté de l'ouvrier, ou le premier pouvoir moteur : force musculaire humaine, vent, eau, vapeur. La cause *finale*, c'est le but, ou le motif, qui déterminent la production de l'œuvre : par exemple, la subsistance, le profit ou le plaisir de l'artisan.

Aristote cite le médecin qui se soigne lui-même comme un exemple de l'union des quatre causes dans un même sujet.

L'analyse d'Aristote est évidemment fondée sur les œuvres de l'industrie humaine, qui présentent toutes les circonstances mentionnées. Elle ne jette pas de lumière sur la causalité dans l'ordre physique, et les efforts qu'on a faits pour ramener à cette classification les phénomènes de la nature, n'ont pu produire que des conceptions insignifiantes ou des applications peu justifiées. La seconde et la troisième cause ont donné lieu à la distinction célèbre de la *matière* et de la *forme*, distinction qui domine toute la philosophie d'Aristote. La troisième, la cause efficiente, a continué d'être en usage dans le langage de la science; cependant une désignation meilleure est celle de premier moteur, de pouvoir moteur. La quatrième, la cause finale, est plus nettement exprimée par ces mots : le motif, la fin, l'intention, le dessin, l'objet ou le projet. Elle ne peut s'entendre que des personnes intelligentes ou de la nature considérée comme l'œuvre d'un Dieu personnel.

Causalité scientifique.

6. Dans les recherches scientifiques, la cause doit être regardée comme l'ensemble complet des conditions ou circonstances requises pour la production de l'effet.

Toutes les conditions supprimées par l'homme pratique sont rétablies par le savant, afin d'exposer complètement la cause et tous ses éléments. S'il y en a quelqu'un d'omis, c'est parce qu'il est si manifeste qu'il ne saurait échapper à personne. Il y a des ellipses d'expression qui sont légitimes jusque dans l'énumération scientifique des conditions d'un effet.

La cause des inondations du Nil pourra être ramenée aux conditions suivantes : 1° la neige qui tombe sur les hautes montagnes d'Afrique, au pied desquelles le Nil prend sa source; 2° la fonte de cette neige à la suite des chaleurs de l'été. La pesanteur, les lois de la chaleur, la nature de l'eau, voilà sans doute des éléments de la cause, mais on ne les mentionne pas, parce qu'on suppose que ces conditions générales se présentent d'elles-mêmes à tous les esprits.

Le développement des plantes est un cas de causalité très-complicé. A l'effet produit concourent ici les propriétés du germe, le contact avec le sol, l'air, l'eau, les corps salins contenus dans le sol, la chaleur, la lumière, etc. L'agriculteur ne considère que quelques-unes de ces diverses conditions, la nature du sol, l'humidité, la chaleur; le physiologiste mettra en relief les agents physiques et chimiques, qui sont en dernière analyse les causes réelles du phénomène.

On explique sommairement les causes de la vision, en disant qu'elle provient de ce que la lumière pénètre dans les lentilles de l'œil. L'énumération complète des circonstances comprendrait l'action optique des lentilles, la physiologie de l'œil, des nerfs et du cerveau, enfin les rapports

qui associent certaines actions du cerveau avec une impression de l'esprit.

La cause de la Réforme fut la prédication de Luther contre la vente des indulgences, en y joignant l'administration de l'Église et l'état des esprits à cette époque.

Lorsqu'on parle des antécédents de la Révolution française, il est d'usage d'invoquer plusieurs causes. Dans l'énumération d'Alison, il n'y a pas moins de soixante causes indiquées.

Gibbon attribue les progrès du christianisme à une cause fondamentale : l'évidence persuasive de la doctrine et de la sagesse souveraine de son auteur, et à cinq causes secondaires : 1° le zèle inflexible des premiers chrétiens ; 2° la doctrine de la vie future, telle que l'entendaient les premiers chrétiens ; 3° les pouvoirs miraculeux attribués à la primitive Église ; 4° la morale pure et austère des chrétiens ; 5° l'unité et la discipline de la société chrétienne.

Les conditions des phénomènes comprennent des circonstances négatives aussi bien que des circonstances positives : l'absence de tout obstacle à l'action des causes. Le soleil est la cause de la vision, pourvu qu'il ne soit pas caché par des nuages, pourvu que l'homme ne soit pas aveugle ou endormi. Il est d'usage de ne pas faire mention de ces divers obstacles, lorsqu'ils sont réellement absents.

7. L'omission des conditions essentielles est un sophisme de causalité fort commun.

Lorsqu'en établissant une cause, nous omettons, non pas des circonstances générales et que tout le monde comprend, mais quelque fait essentiel, la conséquence est un erreur positive.

Lorsque les effets salutaires d'un séjour dans une ville d'eaux médicinales sont tous attribués à l'action des eaux, on commet un sophisme de causalité : car l'ensemble des circonstances qui accompagnent ce séjour fait partie de la cause.

C'est là une forme ordinaire de sophisme inductif, dont l'on rencontre souvent des exemples dans les sciences compliquées, comme la politique et la médecine.

De la causalité entendue comme conservation
de la force.

8. La découverte toute moderne de la loi de la conservation de la force a fait faire de grands progrès à la théorie de la causalité.

La grande loi générale qui a été établie dans ces derniers temps, et que l'on désigne par les expressions diverses de conservation, permanence, corrélation, convertibilité, équivalence, indestructibilité de la *force*, est l'expression la plus profonde de la loi de causalité. Dans tout rapport de cause à effet, il y a une manifestation de force sous certaines conditions, et la loi en question détermine exactement ce que devient cette force. Elle explique le plus souvent, d'une façon suffisante, les phénomènes spéciaux, aussi bien que l'uniformité générale de succession présentée par l'ensemble de la nature.

Par suite du nombre et de la complexité des conditions causales, nous avons besoin d'un principe d'analyse qui nous permette de classer ces conditions. La loi de la conservation de la force satisfait à ce besoin ; grâce à elle, nous considérons chaque cause sous deux aspects : 1° comme un *pouvoir moteur* d'une certaine force ; 2° comme un ensemble de circonstances au milieu desquelles le pouvoir agit. Ces deux choses posées, la loi marque quel doit être le résultat.

Dans les manifestations les plus simples de la force, celles que nous présente par exemple la mécanique, le pouvoir moteur est le fait essentiel, prédominant ; les circonstances

accessoires ne sont pas nombreuses, et il est facile de les déterminer. Dans les phénomènes compliqués de la chimie et de la biologie, il en est autrement; les circonstances acquièrent ici une importance capitale, et souvent elles déjouent tous les efforts tentés pour prédire les conséquences d'un pouvoir donné.

Détermination de la loi de conservation.

9. La force, le pouvoir moteur, la matière en mouvement, le mouvement, — expressions identiques, — prennent différentes formes, qui peuvent, dans un ordre donné, se convertir les unes dans les autres : jamais aucune force ne périt.

1° La *matière inerte en mouvement* est une force sous toutes ses manifestations; mais les formes du mouvement peuvent être très-diverses. Nous sommes plus familiarisés avec le fait du mouvement mécanique : par exemple, le vent, un tourbillon d'eau, la projection d'une balle. Il y a néanmoins des raisons pour croire que la force, appelée chaleur, consiste aussi dans le mouvement de particules matérielles.

2° Les différentes espèces de force peuvent, dans certaines conditions, *se transformer* l'une dans l'autre; la force mécanique peut devenir chaleur, et la chaleur devenir force mécanique. Il y a un ordre, une échelle de transformation, qui sera indiqué plus tard.

3° Dans la transformation de la force, *rien ne se perd*. Le mouvement mécanique, converti en chaleur, est tout entier employé dans la chaleur produite, et, grâce à certains arrangements, il peut être retrouvé tout entier.

De ces trois circonstances : la première, matière en mouvement, est la *définition* ou la généralisation de la force; la seconde, transformation d'une forme de mouvement en

une autre, et la troisième, conservation de la même quantité de force malgré tous les changements apparents, constituent les propriétés ou *prédicats*, qui déterminent la loi de la corrélation ou de la conservation de la force.

10. En expliquant le principe de la conservation, dans son application aux différentes forces de la nature, nous pouvons distribuer ces forces en deux catégories: les forces mécaniques (*molar*) et les forces moléculaires: c'est-à-dire le mouvement par masses et le mouvement par molécules.

Les forces mécaniques sont les mouvements de certaines masses de matière, comme un marteau, une chute d'eau, une locomotive, une planète. La science de la mécanique a pour objet de calculer ces forces et d'étudier leurs transformations dans toutes les circonstances possibles.

C'est par rapport à ces mouvements sensibles, et pour ainsi dire palpables, que la loi de la persistance ou de la conservation de la force a été, pour la première fois, distinctement conçue. La première loi du mouvement, d'après Newton, exprime ce fait : qu'une masse, une fois mise en mouvement, continue à se mouvoir si elle ne rencontre pas d'obstacle; ce qui revient à dire que la force ne décroît, ne périt jamais. Dans un espace libre, où il n'y aurait aucune résistance du milieu, le mobile conserverait à jamais son mouvement. C'est la loi de la conservation sous sa forme la plus simple.

Quand un mobile rencontre un autre corps déjà en mouvement ou à l'état de repos, on dit qu'il frappe ou ébranle cet autre corps; en d'autres termes, il communique à ce corps la totalité ou une partie de son propre mouvement. Ceci est un cas nouveau. Ici, il y a perte de force, d'un côté, et acquisition de force, de l'autre; il y a une distribution nouvelle des forces motrices qui animent les deux corps. Maintenant, dans cet état de choses, la loi de conservation affirme que rien ne se perd dans cet échange, dans cette communication de forces; tout ce que perd le mobile qui meut, c'est le mobile qui est mu, qui le gagne. Si un boulet de dix livres qui, à mille pas, mettrait en

mouvement un second boulet, ébranle et met en mouvement un boulet d'un poids égal et au repos, les deux boulets s'approcheront ensemble à cinq cents pas de l'autre boulet. Le mouvement, avant ou après le choc, reste le même. C'est ce que Newton a exprimé dans sa deuxième et sa troisième loi. Tous les calculs relatifs à la rencontre des corps et à la transmission de la force se fondent sur la conservation de la totalité de la force.

Si l'on avait demandé à un contemporain de Newton ce que devient la force d'un boulet de canon arrêté par un mur, il aurait probablement répondu qu'un mouvement infiniment petit était dans ce cas communiqué à la masse entière de pierres qui forme le mur et à la matière contiguë. Cette affirmation eût été, dès cette époque, considérée comme une conséquence nécessaire de la théorie de la conservation dans la transmission du mouvement. Le mouvement perdu de la balle rapide devient le mouvement insensible d'une vaste masse de matière très-légèrement remuée.

Mais si l'on avait alors posé cette question : Que devient la force de deux mouvements contraires qui se détruisent l'un l'autre, la réponse précédente ne suffisait plus. Car ici aucun mouvement sous aucune forme ne résulte du choc de ces deux mobiles ; il n'y a qu'une chose apparente, c'est des deux côtés une perte de mouvement.

A cette difficulté on aurait pu répondre par une explication spécieuse. On aurait pu dire que la loi de conservation de la force devait s'entendre d'une force agissant *dans la même direction* : les forces qui se meuvent dans des directions opposées devant être considérées, au contraire, comme des quantités négatives, comme la dette par rapport au crédit. De la sorte on aurait suffisamment rendu compte d'une force, en disant qu'elle avait neutralisé une force contraire égale : de la même façon que cent livres payés à un créancier éteignent une dette de cent livres.

A coup sûr cette explication est encore aujourd'hui acceptée par un grand nombre de personnes. Elle peut paraître incontestable et avoir la valeur d'un axiome ; elle

peut paraître intuitive et nécessaire, vu que l'on ne saurait concevoir le contraire. Néanmoins elle est faussée et en contradiction avec les faits. Deux mouvements dans une direction contraire ne peuvent être comparés à une quantité positive et à une quantité négative. Chacun, en effet, a sa valeur positive, quel que soit son but. Deux rivières qui coulent en sens opposé ont autant de force pour faire tourner les moulins que deux rivières qui marchent dans la même direction. Il suffit de certains moyens mécaniques pour détourner dans une nouvelle direction une force motrice, sans que rien de cette force périsse. Les deux forces contraires qui, à la suite d'un choc, se détruiraient l'une l'autre, peuvent, grâce à certaines dispositions, unir leur action dans le même sens. Par conséquent la destruction qui accompagne le choc de deux mobiles contraires serait (d'après l'hypothèse que nous examinons) contraire aux lois ordinaires, puisqu'elle constituerait une perte irrémédiable, une pure destruction, une annihilation. Elle serait donc une exception à la loi générale de la conservation de la force, qu'il faudrait restreindre et appliquer uniquement aux forces qui se meuvent toujours dans la même direction.

Les découvertes des dernières années ont affranchi le principe de la conservation de la difficulté qui vient d'être signalée. Lorsque deux corps en mouvement se rencontrent et suspendent réciproquement leurs mouvements, la force motrice ou mécanique est en réalité supprimée ; mais elle reparait dans l'équivalent de force moléculaire qu'acquiescent les corps, force qui se manifeste par la chaleur. L'accroissement de la température dans les corps qui se heurtent est rigoureusement proportionné au mouvement visible qui a été détruit.

Ceci est une façon tout à fait nouvelle de considérer la force, et l'on acquiert ainsi le droit de maintenir le principe de la conservation, en lui donnant un sens plus large. Nous tirons de là cet enseignement qu'il faut enir compte de toutes les transformations multiples de la

force; et qu'il ne faut pas se hâter de prononcer qu'une force est détruite parce qu'elle a cessé de se manifester sous sa forme primitive. La force mécanique, dans la plupart des cas, produit de la force mécanique; mais, dans d'autres cas, par exemple dans la rencontre de deux mobiles, elle produit une force moléculaire, la chaleur.

En revenant à la question posée à un contemporain de Newton, et où il s'agissait d'expliquer la transformation du mouvement d'une balle venant mourir sur un rocher, nous sommes maintenant en état de répondre autrement qu'en admettant une transmission de mouvement mécanique, qui se produirait dans la masse de pierre; nous admettons une transformation de force mécanique en force moléculaire. La balle et aussi le point où elle se sera arrêtée manifesteront l'un et l'autre un accroissement de température; et cette température sera d'autant plus élevée que la balle avait un mouvement plus rapide. De cette façon, toute la force qui existait existe encore. Dans tous les cas où il y a choc, ou seulement contact sans collision violente, quelque chose du mouvement se perd parce qu'il devient chaleur. La perte de mouvement que le *frottement* a déterminée a pour conséquence une production de chaleur.

11. Les forces moléculaires peuvent être provisoirement réduites aux cinq suivantes: — Chaleur, force chimique, électricité, force nerveuse, lumière.

Cette classification n'est présentée qu'à titre provisoire: elle peut ne pas contenir toutes les espèces; elle peut aussi proposer comme espèces distinctes des modifications légères d'une seule espèce.

1° *Chaleur*. Le meilleur exemple pour faire comprendre le contraste des forces moléculaires avec les forces mécaniques est sans aucun doute la chaleur. Nous expérimentons souvent et de mille manières l'influence de cette force. Mais il n'y a que quelques années que les savants en sont venus à la considérer comme une forme du mouvement de la matière, comme une espèce de mouvement moléculaire, qui

se développe à la suite du choc par lequel est suspendu le mouvement mécanique.

Ce sont en général des chocs mécaniques que l'on emploie pour transformer le mouvement en chaleur. Le frottement n'est qu'un choc adouci, graduel et prolongé. Un exemple familier est celui d'un morceau de fer que l'on frappe avec un marteau jusqu'à le rendre rouge. La chaleur du soleil est hypothétiquement attribuée au choc de masses énormes de matière, qui sont mues d'un mouvement rapide, et que la gravitation retient dans une même sphère.

C'est de cette façon que le mouvement mécanique se convertit en chaleur. La transformation inverse de la chaleur en force mécanique s'accomplit par suite de l'expansion de volume qu'amène l'élévation de température des corps. Dans les solides et dans les liquides cette expansion est petite pour le volume, mais grande pour la force; elle ne peut être adaptée qu'à des cas particuliers, comme quand il s'agit de fendre un rocher. Ici en effet on a besoin d'une grande puissance motrice qui ne déplace cependant que très-peu les objets. C'est surtout par l'intermédiaire des gaz que l'expansion peut être convertie en mouvement mécanique, sous quelque forme que ce soit, comme dans le travail si varié des machines à vapeur.

Dans la génération de la force mécanique au moyen de la chaleur, comme par exemple dans les machines à vapeur, la *source* de la chaleur doit être d'une température plus élevée que le *medium*. Le feu doit être plus brûlant que l'eau et la vapeur. Le pouvoir mécanique se produit par ce fait que le corps qui sert à chauffer passe à une température plus faible. Entre corps également chauds, il n'y a pas développement de force mécanique, ni expansion puissante d'un corps quelconque.

Il y a une puissance de dispersion spéciale attachée à la chaleur. Nous remarquons que certains corps possèdent la chaleur à un degré si élevé, qu'ils sont capables de la faire rayonner sur d'autres corps, sans qu'eux-mêmes perdent de leur chaleur. C'est le moment d'obtenir un équivalent mé-

canique ou autre. C'est aussi le moment d'une *dispersion de force* sans équivalent, si les circonstances ne se prêtent pas à la recueillir. La chaleur solaire qui tombe sur les planètes produit un équivalent d'elle-même, en élevant leur température, et en donnant naissance à d'autres forces ; tout ce que les planètes n'interceptent pas se dissipe dans l'espace vide, sans autre résultat que d'élever légèrement la température générale de l'espace ; ce qui constitue un équivalent réel, sans doute, mais inutile, de la chaleur perdue par le soleil.

C'est par rapport à la chaleur que la transformation de la force mécanique a été évaluée avec la précision la plus rigoureusement numérique. L'unité de mouvement mécanique adoptée comme base du calcul est le kilogrammètre, ou en Angleterre le *foot pound*, représentant la quantité de travail nécessaire pour élever à la hauteur d'un mètre un poids d'un kilogramme. L'unité de chaleur est un kilogramme d'eau porté à une température de 1 degré. Le rapport de l'échange ou de l'équivalence est de 772 *foot pounds* à un kilogramme d'eau élevé à la hauteur de 1 degré Fahrenheit ; ou de 1,390 *foot pounds* à 1 degré centigrade. Dans le système continental l'expression reçue est : 425 kilogrammètres pour un kilogramme d'eau élevé à 1 degré centigrade.

2° *Force chimique.* La force nécessaire pour séparer les éléments des corps composés, et qui se manifeste quand les corps se combinent chimiquement, est ce qu'on appelle la force chimique. Lorsque l'eau est décomposée en ses éléments, hydrogène et oxygène, une certaine quantité de force est absorbée ou employée pour obtenir la décomposition, et cette même force redevient libre lorsqu'on recompose le corps.

Cette force chimique n'est qu'une très-légère modification de la chaleur. Dans le cas de la combinaison, la force qui se produit se manifeste sous la forme ordinaire de la chaleur. En réalité, la chaleur artificielle de combustion n'est autre chose que la force chimique qui se révèle dans

la combinaison chimique de l'oxygène et du carbone (en supposant que le charbon ou charbon de bois soit combustible). Par suite de circonstances particulières, cette force qui détermine la combinaison peut ne pas apparaître sous forme de chaleur sensible ; elle peut revêtir d'autres formes ; elle peut décomposer d'autres corps (comme dans la double décomposition des sels) ; ou bien elle peut se transformer en électricité ou en magnétisme.

D'un autre côté, la chaleur peut agir comme un agent de décomposition. Un grand nombre de corps composés se décomposent sous l'action de la chaleur, comme les oxydes de certains métaux. Un exemple familier est la décomposition de la craie ou carbonate de chaux, dans un four à chaux ; la chaleur dégage l'acide carbonique, et le résidu est de la chaux calcinée. D'autres composés sont décomposés par la chaleur, quand on peut s'arranger de façon à combiner un des éléments décomposés avec une troisième substance ; par exemple, lorsqu'on décompose l'eau dans un tube de fer porté au rouge ; l'oxygène, dans ce cas, se combine avec le fer.

Que la chaleur, qui est le produit de la combinaison, soit en même temps le moyen de la décomposition, c'est la conséquence naturelle de la loi de la conservation. Tout ce qui est employé en fait de force, lorsque les éléments se combinent, doit être remis en liberté lorsqu'ils se séparent de nouveau. Telle est la relation exacte de la chaleur et de l'action chimique, relation qui est dissimulée et en apparence renversée dans l'emploi habituel que l'on fait de la chaleur pour *combinaison des corps*, comme quand on allume le feu. L'intervention de la chaleur en pareil cas est purement accidentelle ; elle semble agir parce qu'elle fait sortir les éléments de leur repos. Mais cela ne suffit pas pour faire de la chaleur un pouvoir combinant, pas plus que le seau d'eau qu'on jette dans une pompe avant de pomper n'est la cause de l'écoulement d'eau qui se produit.

Les rapports de la force chimique et de la chaleur, les lois de leur transformation, doivent être évaluées avec pré-

cision, en tant que les différents composés produisent, en se décomposant, différentes quantités de chaleur. Je prends pour exemples quelques composés de l'oxygène. Un kilogramme d'*hydrogène brûlé*, c'est-à-dire combiné avec l'oxygène, élèverait à 4° centigrade environ trente-quatre mille kilogrammes d'eau. C'est de toutes les combinaisons de l'oxygène la combinaison qui développe le plus de chaleur. Parmi les corps simples qui se combinent avec l'oxygène, nous placerons au second rang le carbone, qui est l'élément essentiel de la combustion ordinaire et aussi de la combustion animale. La chaleur développée par la combustion du carbone est moindre qu'un quart de la chaleur développée par la combustion de l'hydrogène : un kilogramme de carbone brûlé élève à une température de 4° centigrade environ huit mille kilogrammes d'eau. Le phosphore vient après (3,747 kilogrammes); puis le soufre (2,307); des métaux comme le zinc, l'étain, le fer sont à peu près au même point (zinc, 4,301; fer, 4,376; étain, 4,233).

3° *Électricité*. Cette variété de la force moléculaire est caractérisée par deux traits distinctifs. Le premier est la *polarité* ou le développement de forces contraires aux deux points opposés : l'aimant est l'exemple le plus familier de ce pouvoir qui agit dans les masses de matière. Le second est la *conductibilité*, c'est-à-dire la transmission rapide de la force d'une partie du corps à une autre partie, le long d'un fil de métal par exemple; procédé de transmission tout à fait différent des modes de communication que suit la chaleur. Une charge électrique passe presque instantanément et sans une grande diminution de puissance à travers des kilomètres de fil de cuivre.

Le mot d'*électricité* exprime des phénomènes divers, marqués par des caractères différents. On peut en indiquer trois types, trois espèces : le magnétisme, le frottement ou l'électricité franklinique, l'électricité voltaïque; les deux premières sont à la fois moléculaires et mécaniques; la troisième est purement moléculaire et très-étroitement unie à

la force chimique. Le *magnétisme*, en tant qu'il fait partie du groupe des forces qui se correspondent d'après la loi de la conservation, sera le plus facilement étudié sous la forme de l'électro-magnétisme, ou du magnétisme engendré par l'électricité; car, pendant que le magnétisme, qui est une attraction mécanique, peut être apprécié par ses effets mécaniques, l'électricité peut être, à son tour, appréciée chimiquement par la quantité d'acide et de zinc qui se combinent dans la batterie. L'électricité par frottement, telle qu'on la développe dans la machine électrique commune, est engendrée par la force mécanique (quelquefois par la chaleur, comme dans la vapeur); les décharges de cette force, que caractérisent la violence, la concentration ou l'intensité, ne peuvent être rigoureusement mesurées; on en constate les effets dans la destruction de la cohésion atomique, dans de brillants éclats de chaleur et de lumière, dans d'autres faits encore qui dénotent une force très-concentrée. L'*électricité voltaïque* est la forme d'électricité qui a le plus de rapports avec la force chimique; c'est cette force chimique, en effet, qui est sa source, sa mesure, et aussi un de ses résultats. Grâce à la force chimique, que mesure la quantité de matière chimiquement combinée dans les piles voltaïques, nous pouvons établir les lois numériques de l'échange et de la transformation de l'électricité voltaïque en force mécanique et en chaleur.

Ces trois formes de la force, chaleur, force chimique, électricité, sont les espèces les mieux définies que présente l'action moléculaire. Elles peuvent toutes être mesurées, et l'on établit strictement l'équivalent mécanique de chacune d'elles. Il reste la lumière, et aussi les forces qui, dans les êtres organisés et vivants, s'ajoutent aux forces du monde mécanique : la force nerveuse en est un exemple. En raison des analogies qu'elle présente avec l'électricité, c'est par elle que nous allons commencer.

4° *Force nerveuse*. La force nerveuse est l'activité propre aux nerfs et au cerveau. Comme l'électricité, c'est une force qui marche. Mais elle diffère de l'électricité en ce qu'elle ne

se meut que dans un espace relativement petit, et aussi en ce qu'elle dépend de certaines conditions : les combinaisons chimiques de la matière des nerfs. Par suite, tandis que l'électricité s'use et perd de sa force en marchant, la force nerveuse s'accroît au contraire. Bien que cette force ne puisse être soumise à une mesure précise, nous concluons cependant par analogie qu'il y a une équivalence exacte entre elle et les transformations chimiques qui lui donnent naissance ; une partie de la nourriture du corps est employée à la produire et à la maintenir. Elle contribue au pouvoir musculaire, et dans ce cas elle a un équivalent mécanique; elle contribue aussi aux changements moléculaires du corps, chimiques ou autres, et cela dans des proportions définies. En tant que cette force est le concomitant physique des phénomènes de l'esprit, nous devons la regarder encore comme liée à ces phénomènes par des rapports de quantité déterminée. Une double proportion de sentiment, les autres conditions demeurant les mêmes, implique une double proportion de force nerveuse.

5° *Lumière*. La séparation de la lumière et de la chaleur dans l'énumération des forces moléculaires, a besoin d'être explicitement justifiée. Cette séparation est provisoire : voici les raisons qui la motivent. Bien que la lumière soit un produit distinct des autres forces, et particulièrement de la chaleur, bien qu'elle soit un instrument nécessaire à la production de l'une d'entre elles, à savoir la force chimique, cependant jusqu'à ce jour rien n'a été fait pour établir les lois de l'échange et de la transformation entre la lumière et les autres forces. Lorsqu'un corps est chauffé jusqu'à devenir lumineux, il devrait y avoir une perte de chaleur définie et équivalant jusqu'à un certain point à la lumière produite ; pour le moment cependant, nous n'avons aucun moyen de faire cette évaluation. D'un autre côté, quoique la lumière soit l'instrument des changements chimiques, nous ne pouvons dire que, dans ce cas, elle agit comme le font l'électricité et la chaleur, lorsqu'elles déterminent la production de la force chimique ; l'effet qu'elle

réalise pourrait ressembler à l'action de la chaleur pour allumer le feu ; action qui n'est qu'une simple perturbation, suffisante pour permettre l'union chimique d'éléments disposés par leur nature à se combiner. Ainsi le chlore et l'hydrogène ne se combineront pas dans l'obscurité : la combinaison commencera sous l'influence de la lumière. Il faut néanmoins remarquer que la *décomposition* est la preuve directe de la force chimique. Or la lumière ne produit la décomposition qu'en présence d'un corps, comme par exemple l'hydrogène ou le chlore, un corps qui a une tendance marquée à se combiner : ou bien, comme dans les phénomènes de la végétation, lorsque la lumière est accompagnée de chaleur. Nous sommes par conséquent conduits à penser que la lumière est l'occasion déterminante qui produit un changement. Et dans ce sens il y a une proportion numérique entre la quantité de la lumière, et l'étendue de l'action chimique : c'est ce qu'ont montré dans leurs recherches Bunsen et Roscoe. (*Phil. Trans.* 1857.)

Lorsque les forces mécaniques agissent contre la gravitation, par exemple, lorsqu'un projectile est lancé de bas en haut, la force mécanique s'épuise à la fin : l'équivalent obtenu est une situation particulière et avantageuse (*a position of advantage*) par rapport à la gravitation ; par l'action continue de la pesanteur, la somme totale de la force perdue sera rétablie dans la direction de haut en bas (en ne tenant pas compte, bien entendu, de la résistance de l'air). Nous trouvons un exemple familier de cet emploi de la gravitation dans les horloges que font mouvoir des poids régulièrement portés à une certaine hauteur. Sir W. Thomson a imaginé un mot spécial pour désigner ce cas ; il l'appelle force virtuelle ou potentielle, pour la distinguer de la force d'une masse de matière qui est réellement et actuellement en mouvement. La position isolée des corps célestes qui gravitent tous les uns vers les autres a été la situation primitive, d'où a pu sortir (par collision) la chaleur de nos soleils et de nos planètes et, par suite, toutes les autres forces mécaniques, chimiques et électriques.

C'est par cette opération que la force de la gravitation est introduite dans le cercle des forces, et comptée comme une cause, comme un agent producteur. En elle-même, elle ne crée pas de force : ce que la matière gagne en pouvoir, elle le perd en situation ; pour retrouver la situation, il faut perdre le pouvoir. Elle peut néanmoins donner à la force une direction nouvelle : elle peut la tenir en réserve et en faire ensuite une nouvelle distribution, comme un banquier le fait avec l'argent.

On peut trouver une situation semblable dans les forces moléculaires. Ainsi l'existence de deux corps élémentaires, capables de se combiner, est une puissance chimique virtuelle, qui, à l'occasion et sous certaines influences, se convertira en pouvoir moléculaire actuel. Telle est aussi la force virtuelle du charbon, de tous les éléments du globe, de ceux qui ne sont pas combinés et qui peuvent l'être : comme le soufre, les métaux bruts, et les composés plus simples, susceptibles d'entrer dans des composés plus complexes.

Les attractions moléculaires des corps (comme la cohésion) peuvent agir de la même manière que la gravitation.

12. La causalité, considérée comme conservation de la force, n'est donc que le déplacement, la manifestation sous une forme nouvelle d'une même quantité de force.

Lorsqu'un bateau est poussé par le vent ou par la vapeur, on dit que le mouvement de l'embarcation a pour causes ces agents : ces agents s'épuisent eux-mêmes dans la production du mouvement. La force expansive de la vapeur est due à l'action de la chaleur qui s'exerce par le moyen de l'eau. La chaleur elle-même dérive de la combustion ou de la combinaison chimique du charbon et de l'oxygène. Le charbon est formé du carbone que contenaient les végétaux des âges primitifs, végétaux dont le développement a réclamé une certaine dépense de chaleur solaire.

De la même façon, dans le corps humain, la force mécanique dérive de l'activité musculaire : cette activité est due

à l'oxydation des substances que contient le sang : ces substances sont ou bien des produits végétaux, ou bien des chairs d'animaux, nourris eux-mêmes de végétaux ; et, par suite, nous revenons encore ici à l'action primitive du soleil sur le développement de la végétation.

La transmission de la force est donc l'explication fondamentale de tous les changements ; c'est la seule explication possible, dans le sens le plus élevé de ce mot. Un fait de causalité, qui ne peut pas être ramené à cette loi suprême, mérite néanmoins d'être constaté, mais il n'est pas expliqué.

Toutes les apparences contraires au principe de la conservation doivent être regardées comme vaines et trompeuses. Le mouvement perpétuel a longtemps été rejeté comme incompatible avec la phase purement mécanique de la conservation de la force. Il reste encore à dissiper diverses erreurs, contraires à la façon plus large dont nous envisageons aujourd'hui cette même loi. Par exemple, on remarque souvent que la lumière est la cause efficiente du développement des végétaux, c'est-à-dire que la lumière en est la seule cause. Cette observation est incomplète : car les forces chimiques, nécessaires pour décomposer l'eau en ses éléments, ne peuvent être produites que par la chaleur du soleil. La lumière intervient cependant ; elle coopère comme moyen d'excitation.

13. La loi de la conservation suffit à expliquer la causalité, en tant que la causalité n'est que la transmission de la force ou du pouvoir moteur : mais elle laisse inexplicables les questions très-complexes de la COLOCATION.

Si nous considérons la causalité comme la transmission ou la distribution nouvelle d'une certaine quantité de force motrice, rien n'est plus simple que l'établissement du principe de la conservation ; et, même dans beaucoup de cas, nous arrivons à calculer exactement les lois de cette transmission. Mais les circonstances qui accompagnent cette transmission, la situation ou la *collocation* des éléments

engagés dans le phénomène, tout cela peut présenter divers degrés de complexité.

La situation la plus simple est la transmission du pouvoir mécanique à la suite d'un choc, comme dans le cas où une bille est mise en mouvement par un maillet. Du moins nous supposons ordinairement que ce cas est un cas simple, nous ne tenons pas compte de l'agitation intérieure des particules du corps mis en mouvement; nous nous contentons de supposer que le mouvement est transmis avec une perte de force tout à fait insensible. Ici, par conséquent, la collocation est établie aussi facilement que possible; elle n'est pas autre chose que le contact sensible d'un corps en mouvement avec un autre, qui lui-même est en repos ou déjà en mouvement. Même lorsqu'un mobile frappe un autre mobile qui se meut dans une direction inverse, la difficulté de la collocation n'augmente pas: les théorèmes mécaniques relatifs aux forces obliques permettent de prédire la nouvelle direction qui sera suivie après le choc.

Lorsque nous passons de l'échange des forces mécaniques à l'échange des forces mécaniques et moléculaires, nous rencontrons des circonstances ou des collocations complexes et complexes à divers degrés. La plus simple est la transformation du mouvement mécanique en chaleur. Lorsqu'un mobile rencontre une résistance, la force qui l'anime se transforme tout entière et devient un degré plus élevé de température qui se manifeste dans la matière environnante: si le corps frappé est susceptible de se mouvoir, le mouvement engendré doit être déduit de la quantité totale de l'impulsion, dont une partie seulement est alors transformée en chaleur.

La transmission de la chaleur en force mécanique, comme dans les machines à vapeur, s'accomplit en raison des qualités expansives de la matière chauffée. Produite par le fait d'une expansion puissante, la conversion n'est qu'un exemple de choc mécanique. Les difficultés sur ce point sont un peu plus grandes que dans le cas précédent.

L'échange de la chaleur et de la force chimique, la pro-

duction de l'une par l'autre, à volonté, dérive d'un arrangement qui peut être exprimé avec une certaine précision pour l'ensemble, bien que les détails de la transformation restent dans l'ombre. La combinaison de deux corps tels que l'oxygène et le carbone développe de la chaleur; mais les circonstances minutieuses qui accompagnent le phénomène ne peuvent être qu'hypothétiquement soupçonnées. Les mouvements de chaleur interne de l'oxygène et du carbone, quand ils passent dans les molécules de l'acide carbonique, sont en excès, et c'est ce surplus qui produit l'élévation de la température ou de la chaleur sensible de la masse.

La transformation de la chaleur en force chimique (virtuelle), comme dans les décompositions chimiques, est un peu plus compliquée, mais on peut néanmoins exposer en gros ce qui se passe dans ce phénomène. Dans le cas où la décomposition est produite par la chaleur seule, nous avons simplement la restitution du surplus de chaleur de la combinaison. Dans les autres cas où une nouvelle combinaison se forme, nous avons une circonstance additionnelle, qui est aussi susceptible d'être définie et qu'on peut expliquer hypothétiquement.

Les difficultés de la collocation s'aggravent quand nous avons affaire au groupe des forces électriques. L'état *polarisé* de la matière, soit dans une masse, comme l'aimant et la bouteille de Leyde, soit dans une molécule, comme dans les couples de la pile voltaïque, est un phénomène nouveau et unique. On peut encore indiquer les termes extrêmes de la production de cet état par la force mécanique ou par la chaleur; mais les termes intermédiaires échappent et n'admettent même pas une hypothèse vraisemblable. Après beaucoup d'efforts laborieux, Faraday découvrit les moyens de transformer directement la force mécanique en électricité voltaïque (c'est ce qu'on appelle communément la machine magnéto-électrique), mais les degrés successifs de la transition ou les changements moléculaires intermédiaires sont encore aujourd'hui inconnus.

Cependant des perplexités plus graves encore caractéri-

sent les collocations qui accompagnent la transformation des forces en forces vivantes. Même le cas le plus simple, — la production de la chaleur animale par la combinaison ou combustion chimique, — est tout à fait une anomalie, quand on le compare avec ce même phénomène accompli en dehors des corps. Le fait général est un fait d'oxydation; mais les circonstances, les arrangements particuliers sont inconnus.

La production de la force musculaire par le moyen de l'oxydation est conforme à la loi de conservation; mais, jusqu'à présent, les faits intermédiaires ont échappé à l'analyse. De même, la force nerveuse a son origine dans les transformations chimiques (ou dans les transformations moléculaires) comme les autres forces: elle obéit à des lois régulières qui président à l'échange, mais les procédés de la transformation restent dans l'obscurité.

14. Comme, dans la causalité, il y a non-seulement une force, une énergie suffisante, un pouvoir moteur, mais aussi une disposition de circonstances adaptées au déplacement de la force, cet ensemble de circonstances, cette *collocation*, est une partie de la cause, et (par ellipse) elle est souvent prise pour la cause elle-même.

Un cours d'eau est la source de la force qui fait tourner un moulin. Mais, pour que cette force agisse, il faut certaines dispositions pour amener l'eau dans le moulin. Par suite, en laissant de côté le cours d'eau, la cause qui fait mouvoir le grain, c'est la disposition des écluses, c'est l'existence de diverses machines: circonstances qui ont le caractère, non d'une force, mais d'une collocation.

De même, dans une batterie voltaïque, si l'on veut décomposer l'eau, ou charger un électro-aimant, le premier moteur est la force chimique qui se produit dans les couples de la batterie; mais la cause complète comprend les différentes dispositions de la machine, et l'acte final qui consiste à fermer le circuit.

La combinaison des aliments et de l'oxygène de l'air peut être reconnue comme la source de toute puissance vi-

tales; mais les conditions, nécessaires pour constituer la collocation convenable, sont si nombreuses que, souvent, nous parlons de ces conditions plutôt que du pouvoir initial qui est la véritable source de la force. Il nous arrive fréquemment de considérer comme la cause de la force physique d'un homme une bonne digestion, des poumons solides, en général une bonne constitution, sans dire un mot de la source réelle d'où la force dérive. La raison en est que, sans le groupe complexe des conditions organiques que nous venons de signaler, la force ne pourrait être empruntée au fonds commun, et transformée en force musculaire, en force nerveuse.

Lorsqu'un homme bien nourri résiste au travail de sa journée, nous reconnaissons dans ce fait une transformation du pouvoir moteur, d'après la loi de la conservation. Lorsqu'une personne accablée de lassitude reprend ses forces, grâce à quelques gouttes de laudanum, il n'y a pas de proportion entre la cause et l'effet, si l'on considère la cause comme un pouvoir moteur donnant naissance à un pouvoir moteur d'une nature différente, mais d'une quantité égale. L'influence salutaire du laudanum doit être regardée, non comme le principe d'une communication de force, qui correspond au degré d'énergie qu'a recouvré la personne malade, mais comme l'occasion qui a déterminé le rétablissement d'une certaine collocation, nécessaire pour que les substances qui alimentent le corps se convertissent dans les différentes forces de la vie animale.

Comme notre connaissance de la loi de conservation est telle qu'elle rend compte des sources éloignées de toute espèce de force, la recherche qui s'impose d'ordinaire aux savants consiste à se demander par quelles dispositions particulières la production d'un effet est garantie, par quels intermédiaires on a tiré, dans un cas particulier, sur la banque des forces naturelles. Il n'y pas longtemps, on regardait encore comme mystérieux les phénomènes volcaniques. Depuis que la loi de conservation est établie, toute la partie du mystère qui se rapportait à la source du

pouvoir projecteur a été écartée. Cette source n'est autre que la chaleur intérieure de la terre, qui, sur certains points, se convertit en force mécanique. Ce qui reste l'objet de l'investigation scientifique, c'est une pure question de collocation; nous ignorons encore quels sont les arrangements nécessaires pour déterminer de cette façon particulière le déplacement de la force.

De la même manière, tous les grands changements cosmiques, qui marquent le développement du système solaire et l'histoire géologique de la terre, doivent être rapportés à des sources primitives de force. Le pouvoir moteur qui agit n'est plus un secret. Mais, ce qui est encore incertain, c'est la nature des circonstances, des collocations, par lesquelles ce pouvoir a agi, de façon à créer les chaînes de montagnes, les continents, tour à tour émergents et engloutis, les fluctuations des climats, et tous les autres phénomènes que révèle l'examen géologique de la terre.

15. L'importance de la collocation apparaît sous un autre aspect en ce sens qu'elle représente les modes de la force virtuelle.

La force virtuelle est une force de situation ou de collocation. La force virtuelle qui est amassée lorsque des corps en mouvement luttent contre la gravitation jusqu'à ce que leur force soit épuisée, est une collocation de pouvoir, une *position avantageuse*, par rapport à une masse qui gravite. Nous avons ici le cas remarquable d'une force qui est développée dans un corps absolument en repos. Un amas d'eau dans la montagne est absolument en repos tant qu'il est enfermé de toutes parts: l'élan immense qu'il déploiera dans sa chute vers la plaine n'est pas représenté, pour le moment, même par le plus petit mouvement moléculaire.

Une force semblable de collocation est créée, lorsque l'on distend des corps en luttant contre leurs attractions cohésives.

Enfin il y a la force de séparation des éléments chimiques, comme dans le charbon, le soufre, les métaux et les

autres substances simples ou composées qui se prêtent aux combinaisons. La poudre à fusil est une concentration de forces chimiques virtuelles, ou d'éléments propres à se combiner et placés dans une situation qui facilite la combinaison.

C'est dans le cas de ces forces virtuelles que nous nous imaginons créer un mouvement, produire une force que n'aurait point précédée un équivalent de force, enfin faire sortir de petites causes de grands effets. La cause ou l'antécédent d'une grande manifestation de force motrice peut être quelque chose de tout à fait insignifiant, de sorte qu'on dirait que la force a été absolument créée. La cause, dans son rapport avec l'effet, ne peut pas, en pareil cas, être présentée comme un pouvoir qui se transforme en un autre pouvoir égal, qu'il soit d'ailleurs mécanique ou moléculaire. La main d'un enfant peut suffire à faire partir la batterie d'un vaisseau de guerre, à incendier un village. Un seul mot qui émane d'un général, la signature d'un souverain, peut détruire un empire.

La cause, dans tous ces cas, a un sens particulier et important. Elle n'est pas un pouvoir moteur égal au pouvoir qui se manifeste dans l'effet; elle est l'occasion quelquefois très-simple qui détermine le passage de la force virtuelle à la force active; ce sera, par exemple, la suppression du cordon qui soutient un poids, l'ouverture d'une écluse, l'allumette qu'on approche du feu, le motif qui se présente à la volonté humaine.

Le cours de nos recherches expérimentales doit être approprié à cette forme nouvelle de notre connaissance de la causalité. Nous savons les sources lointaines, et, dans la majorité des cas, les sources prochaines du pouvoir moteur ou de la force; nous connaissons aussi un nombre plus ou moins grand des circonstances ou des collocations dans lesquelles s'accomplit le déplacement de la force; ce qui nous manque encore, c'est une connaissance complète et générale des autres collocations.

Dans les phénomènes subtils de la lumière, nous igno-

rons, pour le moment, si le rayon lumineux agit comme un agent dynamique ou comme un premier moteur, tel que la chaleur et l'humidité, ou seulement comme un agent de collocation, soit pour compléter les intermédiaires nécessaires à la transmission de la force, soit pour faire passer une force de la puissance à l'acte. On peut supposer que lorsque la lumière produit la combinaison chimique, elle ne fait autre chose qu'affranchir une force chimique virtuelle. De même, dans son action sur l'œil, pour déterminer la sensation optique, la lumière peut ne faire autre chose qu'éveiller des forces latentes.

Il est nécessaire d'établir ce point préliminaire pour avancer dans nos recherches sur l'action de la lumière. En complétant ou en arrangeant d'une nouvelle manière les collocations, la lumière doit manifester une force dynamique, mais cette force peut être très-faible et sans proportion avec les résultats qu'elle produit. Il n'est pas prouvé que, dans tous les cas, les énergies dont la lumière a provoqué le développement se maintiennent aux dépens de la lumière.

Beaucoup de nos sensations, sinon toutes, se prêtent à l'action de causes qui agissent simplement en dérangeant les collocations naturelles. La mouche qui, avec sa trompe, nous chatouille le nez, n'est pas la source du mouvement musculaire que détermine cette sensation. L'irritation que produit une fausse note, la révolusion que cause une odeur, sont efficaces en ce sens qu'elles dérangent quelque collocation naturelle et, par suite, font passer de la puissance à l'acte quelque force virtuelle.

Dans la constitution compliquée des animaux, il peut y avoir de violentes manifestations de force, qui suivent la suppression des sources ordinaires de l'énergie. Ainsi l'extrême faim peut déterminer des nausées et des vomissements. Dans le délire de la fièvre, alors que le corps ne reçoit plus de nourriture, il se produit une grande dépense de force musculaire. Nous ne sommes pas en peine, d'après les principes précédents, pour résoudre ces contradictions

16. De même que la cause ne signifie pas toujours le pouvoir moteur qui se déplace selon la loi de la conservation, de même l'effet peut en certains cas désigner, non la force qui a été communiquée, mais un nouvel arrangement, une nouvelle collocation de circonstances.

Le pouvoir moteur est souvent dépensé, non pas pour produire quelque pouvoir équivalent, mais seulement pour distribuer de nouveau les circonstances, les éléments, comme, par exemple, quand on a transporté les pierres de la carrière à la ville pour bâtir. Il y a ici une dépense définie de force qui correspond au nombre de pierres, à la distance, au frottement des routes : l'effet total consiste simplement en un changement de place pour les pierres, sans que la moindre force, même virtuelle, ait été produite.

Telle est la nature de beaucoup de changements géologiques. Lorsque les forces du soleil et de la terre ont soulevé les montagnes, il y a eu la production d'une puissance virtuelle. Mais le transport des roches erratiques, le dépôt de certaines matières à quelque distance de leur source d'extraction, sont des effets de changement dans lesquels n'est enveloppée aucune puissance causale.

17. Les preuves pour la causalité et la conservation de la force sont les mêmes.

C'est la conséquence de l'identité des principes. Mais comme, avant d'établir le principe de la conservation, un grand nombre de preuves avaient été accumulées en faveur de la causalité, sous sa forme ancienne, toutes les preuves expérimentales, en faveur de la conservation, ne seront qu'une simple addition aux preuves de la causalité. En fait, néanmoins, ces preuves expérimentales sont considérées comme suffisantes par elles-mêmes pour établir la loi de la conservation.

Les penseurs qui donnent une intuition comme principe à cette grande généralisation traitent les deux formes d'une façon identique. Hamilton a donné, pour la loi de causalité, une formule qui équivaut exactement au principe de conservation. On peut dire qu'il en a découvert le premier l'expression.

M. Herbert Spencer soutient que « l'esprit ne peut concevoir que la quantité totale de matière qui existe dans l'univers soit diminuée, pas plus qu'on ne peut concevoir qu'elle soit augmentée. Notre impuissance à concevoir que la matière soit anéantie est la conséquence directe de la nature de la pensée. La pensée consiste à saisir des relations. On ne peut saisir de relations, et, par conséquent, penser, quand l'un des termes relatifs est absent de la conscience. Il est donc impossible de concevoir la destruction de la matière, de même qu'il est impossible de concevoir sa création. L'indestructibilité de la matière devient ainsi une connaissance *à priori* de l'ordre le plus élevé; elle n'est pas le résultat d'une longue série d'expériences, qui peu à peu ont constitué un mode définitif de pensée, elle est une connaissance donnée dans la forme de toutes les expériences. » *Premiers principes*, p. 175. Voilà pour la matière. Or, comme la matière ne nous est connue que comme une force qui se développe, le raisonnement applique à la force la signification réelle de la matière. De sorte que, « par l'indestructibilité de la matière, nous entendons au fond l'indestructibilité de la force par laquelle la matière se révèle à nous ».

Sans rentrer dans la discussion relative au critérium de certitude, fondé sur l'impossibilité de concevoir le contraire, nous pouvons remarquer qu'en l'absence de vérifications expérimentales il serait tout à fait hasardé d'accepter une semblable conception *à priori*. Cette conception, par exemple, ne nous dit pas que toute la force de la nature semble tendre à une espèce de dissémination, qui est, en définitive, une annihilation, à savoir le rayonnement de la chaleur dans l'espace. De plus, on a déjà cité le cas de deux forces opposées qui, se rencontrant, se neutralisent l'une l'autre : un fait qu'on acceptait autrefois comme étant pleinement d'accord avec l'indestructibilité de la force mécanique. La croyance universelle des hommes de science, aussi bien que du vulgaire, était que rien ne survivait à une collision semblable. Les principes *d*

priori de ce genre ressemblent aux prophéties faites après coup.

Lorsqu'on a exposé dans toute leur étendue les méthodes inductives, la preuve de la loi de causalité doit être reprise, afin qu'on puisse indiquer son caractère logique. Nous admettrons ici qu'elle est suffisamment établie, et nous la prendrons même comme un principe de déduction, dans plusieurs méthodes de la preuve ou de l'élimination inductive. Sans cela, rien ne serait plus long et plus laborieux que l'établissement d'une loi de la nature; toute induction séparée aurait besoin, pour être établie, d'un examen détaillé de l'ensemble des cas que renferme la nature. Il n'en n'est pas ainsi, et, par exemple, la loi la plus puissante des méthodes inductives, la méthode de différence, est une application déductive de la loi de causalité ou de conservation.

18. La cause ou l'ensemble des conditions d'un effet doit être cherché parmi les antécédents de l'effet.

Au premier abord, la cause et l'effet apparaissent comme une simple succession : la cause vient la première, elle est l'antécédent ; l'effet vient ensuite, c'est le conséquent. C'est donc parmi les circonstances qui précèdent l'effet, et qui lui sont suffisamment liées par les conditions de temps et de lieu, que nous devons chercher la cause.

La difficulté de la recherche est due à ce fait que, dans la plupart des cas, des circonstances qui ne font point partie de la cause se trouvent comprises parmi les antécédents, aussi rapprochés de l'effet par les conditions du temps et du lieu que la cause peut l'être elle-même. C'est afin de distinguer les conditions réelles que nous devons recourir à une série d'observations, d'expériences, et à la comparaison des cas.

19. Un antécédent invariable n'est pas nécessairement la cause ou une partie de la cause d'un effet.

L'exemple vulgaire est la succession du jour et de la

nuit : succession qui est invariable, et qui n'est pas cependant la succession d'une cause et d'un effet. De même dans le développement des êtres vivants, il y a de nombreux exemples de successions invariables, et cependant nous n'avons pas le droit, pour cette raison seule, de prononcer que l'antécédent est la cause du conséquent.

Le cas du jour et de la nuit, qui est un phénomène bien connu, montre nettement la différence de la causalité et de la succession invariable. Nous savons que la cause du jour est la lumière du soleil projetée sur la terre; que la nuit est l'effet de l'absence du soleil. Nous savons de plus que la rotation de la terre est la circonstance qui occasionne l'absence périodique de la lumière. La cause complète du phénomène est donc l'ensemble de faits suivant : la lumière du soleil, la situation de la terre qui la met à la portée de cette lumière, enfin la rotation de la terre sur son axe. L'alternance de la lumière et des ténèbres est elle-même une conséquence de l'ensemble de faits qui constitue le phénomène.

On peut prouver pour certaines successions invariables que présente le développement des animaux et des plantes, on peut présumer pour d'autres, qu'elles sont les effets communs d'une cause réelle.

Ces successions invariables ajoutent aux difficultés de l'élimination de la cause.

La cause doit être un antécédent invariable, mais elle doit être en outre ce que M. Mill appelle « un antécédent invariable inconditionné », la seule circonstance suffisante pour que l'effet se produise, si elle est présente, pour que l'effet soit suspendu, si elle est absente. La lumière du jour est précédée par l'obscurité; mais l'obscurité n'est pas toujours et partout suivie, après une certaine durée, par la lumière du jour. Nous ne pouvons, dans le cas du jour et de la nuit, détruire l'alternance de la lumière et de l'obscurité; mais, en nous référant à d'autres cas, à d'autres situations, nous ne constatons pas que l'obscurité alterne toujours avec la lumière.

La composition des causes.

20. Lorsque différents pouvoirs moteurs sont associés, l'effet composé est la somme ou la différence des effets séparés, selon que ces pouvoirs conspirent ensemble ou s'opposent l'un à l'autre.

Les causes, entendues comme premiers moteurs, peuvent être combinées, et le résultat calculé par une opération numérique. Deux hommes qui tirent avec la même corde deux locomotives, deux poids, et qui agissent dans la même direction, ont un effet total, égal à la somme des effets séparés. Lorsque les deux hommes tirent en sens inverse, le résultat est la différence. Pour l'action oblique, le calcul se fait au moyen du parallélogramme des forces.

La même règle s'applique aux actions moléculaires. Deux feux égaux donnent le double de chaleur qu'un seul feu : deux boisseaux de charbon produisent double combustion, c'est-à-dire double chaleur. Dans une machine à vapeur, doubler le combustible, c'est doubler la puissance motrice. Trois bougies pareilles donnent une lumière triple. Deux aimants égaux réunis supporteront un double poids. Si une pile d'une batterie voltaïque décompose un kilogramme d'eau dans un temps donné, six piles également énergiques décomposeront six kilogrammes dans le même temps.

Le même principe s'étend encore aux forces physiologiques et vitales. L'accroissement de la chaleur, de la lumière, de l'assimilation, produit un accroissement correspondant dans le développement du végétal. La nourriture et l'oxygène, en se combinant, augmentent proportionnellement la force animale.

Même pour l'esprit, la même loi se maintient, bien qu'elle soit combattue par les forces nouvelles qui dérivent de la complexité des phénomènes de l'esprit. Les plaisirs et les peines sont conformes aux proportions des agents qui les produisent. Les joies d'un homme augmentent avec ses

profits, et diminuent avec ses pertes, toutes choses égales d'ailleurs.

Les forces sociales se combinent et peuvent être calculées de la même manière par la somme de leurs effets. L'addition d'un nouveau sujet de mécontentement, chez un peuple qui déjà n'était pas satisfait, lui fait faire un pas de plus vers l'anarchie et la révolution. D'autre part, une mesure, qui lui agréé et qui le charme, peut neutraliser les mauvais sentiments qui l'animaient.

Dans tous les cas semblables, la cause doit être interprétée comme signifiant le pouvoir moteur ou la force : la règle de la somme et de la différence arithmétique ne peut être appliquée dans un autre sens. Les causes qui ne font que disposer une situation, de manière à mettre en mouvement un pouvoir moteur, ou qui affranchissent une force virtuelle, ne peuvent être soumises à une règle semblable. Un seul homme peut diriger un fusil vers un fort aussi bien que trois hommes ; deux étincelles ne sont pas plus efficaces qu'une seule pour faire sauter un baril de poudre. En médecine, il y a une dose définie qui correspond au but qu'on poursuit ; une addition à cette dose ne produit plus le bien cherché.

21. La composition des causes est quelquefois appliquée aux actions chimiques, de façon à exprimer, non pas l'union des forces, mais l'union des substances. C'est de cette manière que l'oxygène et l'hydrogène, se combinent pour former l'eau.

Cette partie des opérations chimiques se rapporte à la collocation, non à la force. Le mélange des substances et l'union des forces ne sont pas le même fait.

Dans l'action chimique, ainsi comprise, nous ne pouvons prédire complètement les caractères du composé, d'après les caractères des éléments. C'est le caractère spécial des combinaisons chimiques de faire complètement disparaître toutes les qualités physiques des substances que l'on combine, et de produire un composé nouveau où les éléments primitifs ne sont pas reconnaissables. Le soufre se combine

avec le cuivre pour former une substance noire et floconneuse, le sulfure de cuivre.

On n'a pas de lois générales qui servent à calculer les résultats de la combinaison chimique : nous savons seulement que le poids ne varie pas, et que la loi des proportions définies est universelle.

La combinaison chimique a été appliquée par analogie aux combinaisons mentales ou sociales. Ainsi les émotions complexes de l'esprit sont souvent si différentes des éléments qui les constituent qu'elles n'en suggèrent pas l'idée au philosophe qui les analyse. Le sens moral, par exemple, est considéré par beaucoup de philosophes comme une faculté simple, pour cette raison qu'il ne ressemble à aucun autre élément de l'esprit.

De même dans l'étude des caractères nationaux, nous pouvons savoir que certaines influences concourent pour les former, et cependant trouver de grandes difficultés à reconnaître ces influences.

Il n'y a là néanmoins que de pures analogies. La combinaison chimique n'est guère qu'une métaphore. L'analogie fait défaut en effet par une circonstance essentielle : les proportions définies. L'effacement des éléments constitutifs est le seul point de ressemblance. Il vaudrait mieux rapporter ces faits par analogie à la croissance vitale, dans laquelle les éléments forment des produits, qui se combinent encore avec d'autres éléments, dans des opérations successives, opérations qui ne peuvent garder toutes le souvenir d'elles-mêmes.