

sente une cause ou un effet, ne peut manquer de suggérer des lois de causalité plus générales que celles que le savant recherche. Néanmoins il ne serait pas prudent d'insister sur ces généralisations, tant que nous étudions les procédés d'élimination. La généralisation fait partie de la *découverte* : l'élimination fait partie de la *preuve*, et la preuve est, beaucoup plus que la découverte, le but de la logique.

CHAPITRE VI.

LES MÉTHODES EXPÉRIMENTALES.

1. Il y a trois principales méthodes, pour éliminer la cause d'un phénomène dans un ensemble de circonstances indifférentes : ces méthodes sont la concordance, la différence, les variations concomitantes.

MÉTHODE DE CONCORDANCE.

2. La méthode de concordance peut être exprimée ainsi : Si deux ou plusieurs exemples du phénomène qui est l'objet de la recherche présentent une seule circonstance commune à tous, cette circonstance est la cause (ou l'effet) du phénomène.

Il faut avoir soin de varier les expériences, assez habilement pour faire successivement disparaître toutes les circonstances accessoires du phénomène. Les circonstances qui à chaque fois disparaissent, sans préjudicier au phénomène, ne sauraient en être la cause. Les causes possibles sont de la sorte peu à peu réduites en nombre ; et si les moyens employés pour l'élimination sont complets, la recherche se termine, en assignant au phénomène, comme cause, la circonstance qui n'a jamais fait défaut dans tous les cas où le phénomène s'est montré.

Voici comment on peut exprimer symboliquement cette méthode : supposons que A représente une cause et *a* un effet. Dans la nature il est rare que A soit suivi seulement de *a*. Dans les cas où cet isolement est la règle, les méthodes expérimentales ne sont pas nécessaires. En général ce que nous trouvons dans la nature, c'est A accom-

pagné de circonstances comme B, C et de même *a* accompagné de *b, c*. Si ces liaisons étaient invariables, nous n'aurions aucun moyen d'appliquer la méthode. Mais la vérité, c'est que la cause, quoiqu'elle puisse toujours être combinée avec d'autres agents, ne l'est pas toujours avec les mêmes. Tantôt elle est unie avec B, C, tantôt avec B, D, tantôt avec C, E : les effets correspondants étant *a, b, c, — a, b, d, — a, c, e*.

Supposons donc les exemples :

A, B, C, produisant *a, b, c*.

A, B, D, produisant *a, b, d*.

A, C, E, produisant *a, c, e*.

Nous raisonnerons comme il suit. En ce qui regarde le premier exemple : A, B, C, produisant *a, b, c*, l'effet *a* peut être produit indifféremment par A, par B, par C. Dans le second cas : A, B, D, produisant *a, b, d*, la cause C est absente, et cependant l'effet *a* subsiste : C n'est donc pas la cause de *a*. Dans le troisième exemple A, C, E, produisant *a, c, e*, B est absent, *a* subsiste : B n'est donc pas la cause de *a*. Le seul antécédent qui se retrouve dans tous les exemples est A : partout où *a* est présent comme conséquent, A est présent comme antécédent. Par conséquent, si nous sommes certains que toute autre circonstance que A a été successivement exclue, tandis que le conséquent *a* subsistait toujours, nous pouvons conclure avec la plus entière évidence que A est la cause, la condition, ou l'antécédent invariable de *a*.

Peu importe que la recherche consiste à déterminer une cause, étant donné un effet, ou au contraire à trouver un effet, étant donnée une cause. Le premier cas peut être considéré à bon droit comme le plus général. La science, depuis longtemps, a consisté dans la recherche des causes :

«.... rerum conquirere causas.»

Si le problème est généralement posé sous la première forme, la preuve est toujours présentée sous la seconde :

nous mettons à part une cause, pour constater l'effet qui en dérive, ce qui prouve à la fois que le conséquent est l'effet de l'antécédent, et que l'antécédent est la cause du conséquent. Les deux affirmations sont identiques.

Bien que notre but avoué soit maintenant d'expliquer l'élimination inductive de la cause et de l'effet, après nous être ailleurs occupés du cas de la coexistence, nous ne devons pas moins, en exposant les méthodes, accueillir indifféremment tous les exemples qui se présentent à nous, ne sachant pas à première vue quelle tournure ils prendront. Il y a des connexions réelles de cause et d'effet, qui apparaissent cependant comme de simples coexistences ; et il y a des cas que nous sommes forcés de laisser indécis, parce que nous ne pouvons pas déterminer la nature véritable et fondamentale de leur union. Les signes les plus fréquents de la causalité sont : 1° la succession dans le temps ; par exemple, lorsque la vaccination est suivie de l'apparition de boutons de petite vérole ; 2° une certaine dépense d'énergie, lorsqu'un boulet de canon ébranle une forteresse. Lorsque ces signes font défaut, comme dans les attributs coexistants d'une même substance, tels que la gravitation et l'inertie, nous sommes réduits à supposer la coexistence ; soit que les deux attributs s'impliquent mutuellement l'un dans l'autre, soit qu'ils soient les effets coexistants d'une même cause.

Cette explication est particulièrement nécessaire au début de la méthode de concordance, méthode qui est la preuve universelle ou fondamentale pour toutes les relations possibles. C'est au point de vue de cette méthode que nous devons être prêts à admettre toutes les espèces de liaison : ramenant les unes sous la loi de causalité, quand nous le pouvons, indiquant les autres comme de pures coexistences, quand nos présomptions nous portent de ce côté.

Un exemple bien simple sera le cas de la transformation des corps solides en liquides, et la transformation des liquides en gaz. Les corps qui se transforment ainsi appartiennent à toutes les variétés possibles ; il n'y a qu'une circonstance

qui soit commune à tous les cas, c'est la présence, l'intervention de la chaleur. L'élimination est aussi complète que possible par rapport à cet antécédent, qui doit être considéré justement comme la condition essentielle, comme la cause du phénomène. Nous pouvons dans cet exemple constater le signe le plus certain de la causalité, à savoir la dépense d'une certaine quantité d'énergie ou de force : il est absolument impossible de prendre le cas pour un fait de simple coexistence.

Voici un exemple d'une autre nature :

Le phénomène appelé polarisation de la lumière peut être pris comme objet de nos recherches. Ce phénomène consiste dans l'apparition de bandes de couleurs alternes ou périodiques, qui se produisent lorsqu'un rayon de lumière, préparée d'une certaine façon, traverse certaines substances transparentes. Nous pouvons nous demander s'il y a dans les substances qui produisent ce phénomène quelque qualité, quelque propriété commune. Les corps doivent être transparents : mais tous les corps transparents ne produisent pas les bandes polarisées ; par conséquent la transparence n'est pas la cause du phénomène, et doit être éliminée. Si nous poussons plus loin notre analyse, nous constatons que dans les corps en question il n'y a point d'uniformité, ni en fait de couleur, ni en fait de densité, ni pour la dureté, ni pour la forme cristalline, ni pour la composition (physique ou chimique) ; de sorte qu'aucune de ces circonstances ne doit être considérée comme la cause du phénomène. Mais il y a un caractère commun à toutes les substances qui produisent la polarisation : c'est qu'elles donnent toutes naissance à une *double réfraction*, c'est-à-dire qu'elles présentent deux images des objets que l'on regarde obliquement à travers elles. Puisque toutes les substances connues satisfont ici à la loi de concordance, on a le droit d'en conclure que les deux qualités, polarisation et double réfraction, sont partout coexistantes.

On n'a pas néanmoins le droit d'affirmer, d'après la seule méthode de concordance, lequel de ces deux faits est

la cause, lequel est l'effet, ni s'il y a là une relation de causalité, ou une simple relation de coexistence. La concordance établit toutes les liaisons, quelles qu'elles soient, liaisons de coexistence ou de causalité. La question se rattache à une catégorie particulière de recherches, — celles qui ont pour objet les propriétés naturelles des êtres. Le critérium décisif de la causalité fait défaut dans cet exemple.

Pretons un troisième exemple. Il y a dans les fleurs une coïncidence remarquable entre la *couleur écarlate* et le *défaut de parfum*. La citation suivante nous donne un choix d'exemples :

« Parmi toutes les couleurs que prennent les fleurs, il n'y en a pas une qui soit moins que la couleur écarlate associée avec le parfum. Nous ne pouvons pour le moment citer une seule fleur d'une brillante couleur écarlate qui ait même une légère odeur, et cependant aucune couleur n'est plus recherchée et plus admirée dans les fleurs. La couleur écarlate domine chez les balsamines, les euphorbes, les pélagoniums, les pavots, les verveines, les sauges ; aucune de ces fleurs n'est odorante, lorsqu'elle est écarlate. Les verveines et les balsamines ont quelquefois une faible odeur ; mais c'est précisément quand elles sont légèrement colorées. La sauge commune à fleurs bleues est odorante à la fois dans ses feuilles et dans ses fleurs : mais les sauges écarlates sont privées de tout parfum. Aucun pélagonium légèrement odorant n'est écarlate, et aucun des pélagoniums écarlates n'a d'odeur, soit dans ses fleurs, soit dans ses feuilles. Quelques pavots aux fleurs blanches répandent un parfum agréable ; mais les pavots anglais colorés en rouge ne possèdent pas la plus légère odeur. L'aubépine anglaise à fleurs blanches répand l'odeur la plus délicieuse ; l'aubépine à fleurs écarlates n'a pas de parfum. » — (*Elder*. Journal mensuel du Jardinier américain.)

Quatrième exemple. Le vent du nord-est est connu pour être nuisible à un grand nombre de personnes. Supposons qu'on recherche à quelle circonstance cela est dû. Nous

pouvons par analyse distinguer diverses qualités dans les vents : le degré de force, la température, l'humidité ou la sécheresse, l'électricité, l'ozone. Voyons maintenant, en consultant l'expérience, laquelle de ces circonstances est inséparable du vent en question. Or nous constatons que, par rapport à la force, les vents d'est sont en général faibles et calmes, qu'ils ne soufflent avec violence que dans certains cas; ce n'est donc pas à la violence du courant que nous pourrions attribuer leur influence malsaine. D'un autre côté, s'ils sont le plus souvent froids, ils sont aussi, par occasion, comparativement chauds. Et, bien qu'ils soient plus désagréables quand ils sont froids, ils ne cessent pas de l'être quand leur souffle est plus chaud : de sorte que la température n'est pas encore la condition essentielle que nous cherchons. Ces vents ne présentent pas non plus un degré uniforme d'humidité : ils sont tantôt pluvieux, tantôt secs. Quant à l'électricité, il ne paraît pas qu'ils contiennent une charge constante d'électricité soit positive, soit négative, soit faible, soit intense. La tension électrique de l'atmosphère augmente généralement à proportion que la température décroît. Enfin, par rapport à l'ozone, ils renferment évidemment une moindre quantité de cet élément que les vents du sud-ouest; mais un vent d'est, sur les bords de la mer, contient plus d'ozone qu'un vent d'ouest, au cœur d'une cité. Il résulte de ces observations que l'influence nuisible du vent d'est ne dérive d'aucune de ces circonstances. Mais si nous considérons avec précision les conditions dans lesquelles se développe le courant du nord-est, nous constatons que ce vent souffle du pôle vers l'équateur, et que pendant plusieurs milliers de kilomètres il rase la surface du sol; le vent de sud-ouest, au contraire, qui souffle de l'équateur, descend pour ainsi dire vers nous comme d'une hauteur. Par conséquent, pendant son long contact avec le sol, le vent d'est peut entraîner avec lui un grand nombre d'éléments impurs, des effluves gazeux, des grains de poussière, des germes microscopiques, qui restent suspendus

dans les couches d'air que nous respirons. C'est le seul point pour lequel il y ait, dans l'état présent de la science, concordance et uniformité complètes.

Que concluons-nous de ces faits? Comme la concordance, par elle seule, ne nous permet pas de décider si les circonstances qui s'accompagnent sont liées par un rapport de causalité, nous devons chercher un moyen pour éliminer la coexistence et pour transformer le cas en cas de succession. Lorsque les circonstances sont manifestement successives, lorsque, par exemple, une fracture succède à un coup, la concordance uniforme (avec élimination) prouve le rapport de causalité; lorsqu'elles ne sont pas clairement successives, la concordance est insuffisante pour éclaircir ce point.

Remarquons maintenant que la croyance générale est que les deux événements en question, — le vent d'est et le malaise physique, — sont non pas contemporains, mais réellement successifs : le vent souffle, le malaise suit. Cette croyance est favorisée par ce fait qu'un changement dans l'état physique doit avoir, conformément à la loi de causalité, une condition antécédente; et si tous les antécédents ont été éliminés, sauf celui que nous avons indiqué, nous sommes disposés à conclure que c'est lui qui est la cause, ou du moins un élément essentiel de la cause.

Le phénomène à expliquer n'est pas un fait permanent, une puissance stable, comme la polarisation ou la double réfraction; c'est une manifestation temporaire qui exige qu'une circonstance causale la produise. Sous ce rapport, il ressemble à la production actuelle d'une des qualités optiques; il ne peut se produire sans l'intervention d'un agent, d'un ensemble de circonstances.

Si donc l'élimination est supposée complète, il est prouvé par concordance que l'influence délétère du vent d'est dérive de la circonstance indiquée; et ce cas donne un exemple de l'efficacité que possède la méthode de concordance pour éliminer la cause.

Dans l'exemple précédent, nous ne pouvons arracher de notre esprit une présomption et comme une idée pré-

conçue en faveur du résultat que nous obtenons. Ce préjugé est fondé sur notre connaissance de l'influence délétère, qu'il faut attribuer aux impuretés que l'atmosphère recueille à la surface du sol. Cette circonstance, à proprement parler, ne fait point partie de la méthode de concordance; c'est comme une confirmation qui dérive d'une source déductive. L'influence d'une semblable présomption est toujours puissante sur notre croyance. Lorsque ces idées préconçues font entièrement défaut, elles ont pour résultat de causer une grande incertitude dans les méthodes expérimentales, mais surtout dans la méthode de concordance. Le troisième exemple nous montre clairement les résultats qu'entraîne ce défaut d'idées préconçues. Nous n'avons pour le moment aucune idée d'une connexion causale entre la couleur écarlate des fleurs et leur parfum. La méthode de concordance seule est employée ici, et elle ne prouve qu'une chose, la coexistence des deux qualités. Cette méthode aboutit à son résultat final, lorsque l'élimination a été entièrement faite, grâce à la variation des circonstances, et lorsqu'on a montré l'uniformité de la coexistence dans toute l'étendue de la nature.

Cinquième exemple. Supposons que le phénomène donné soit la cristallisation, et que la question consiste à rechercher les antécédents positifs ou négatifs de la formation des cristaux. Ceci est un cas de succession et par conséquent de causalité.

Il faut commencer par recueillir des exemples du phénomène. Dans l'énumération qui suit, les circonstances ont été variées à dessein, dans un but d'élimination :

- 1° Congélation de l'eau.
- 2° Refroidissement et solidification des métaux et des minéraux liquéfiés.
- 3° Dépôts de sels dans les dissolutions.
- 4° Les dissolutions qui se volatilisent.
- 5° Le dépôt de substances qui passent de l'état gazeux à l'état solide, comme l'iode.
- 6° La pression

7° Des changements intérieurs lents et insensibles, comme dans les rochers.

8° Le passage des métaux de l'état visqueux à l'état cassant, par suite de la percussion, et de l'intermittence du chaud et du froid.

Considérons d'abord le premier et le second cas, celui de la glace, et celui des métaux liquéfiés qui se solidifient. Nous découvrons ici deux antécédents : l'abaissement de la température, et le passage de l'état liquide à l'état solide.

Dans le troisième exemple, — le dépôt de sels dissous, — nous retrouvons ces mêmes circonstances : abaissement de la température, passage de l'état liquide à l'état solide.

Le quatrième exemple, — volatilisation de substances dissoutes, comme par exemple lorsqu'on fait bouillir de l'eau de mer, — ne présente plus la première condition relative à la température, mais il s'accorde avec les trois autres exemples quant à la condition de l'état liquide préalable; le fait essentiel à remarquer ici, c'est que la substance dissolvante s'évapore, et le corps dissous est par suite amené à reprendre l'état solide.

Le cinquième exemple, — dépôt de solides qui passent de l'état gazeux à l'état solide (iode), — élimine la condition de l'état liquide préalable. Nous devons par suite changer les conditions antécédentes, et à l'état liquide substituer comme condition supposée un des deux états liquide ou gazeux de la matière.

Le sixième exemple est le cas d'une forte pression longuement exercée sur une substance amorphe; c'est ce qui se produit surtout en géologie. Cet exemple élimine comme antécédent la condition d'être à l'état liquide ou gazeux, et nous amène à considérer le rapprochement forcé des molécules constitutives d'un corps. Or la même circonstance accompagne tous les cas précédents; elle est commune à tous. La chaleur, nous le savons, dilate nécessairement les corps, et, par suite, elle place leurs molécules dans un état de répulsion réciproque, de sorte que la dis-

parition de la chaleur laisse les puissances attractives de ces molécules absolument libres dans leur action.

Le septième exemple, — légères modifications géologiques, — serait difficile à interpréter, si on ne le considérait à la lumière de l'observation qui vient d'être faite. Il peut se concilier, néanmoins, avec la prédominance de l'attraction moléculaire, en raison de l'affaiblissement des forces répulsives.

Le huitième exemple, — passage des métaux de l'état visqueux à l'état cassant, — est un cas réel de cristallisation : l'état cassant correspond à une cristallisation imparfaite. L'effet résulte ici du refroidissement qui se produit une fois que le métal a été martelé, ou bien de l'action, plusieurs fois renouvelée, du chaud et du froid, ou bien d'une percussion longuement continuée; or, toutes ces influences tendent à exclure la chaleur intérieure de la substance, et, par suite, à faire prédominer l'attraction moléculaire.

Nous avons, de la sorte, éliminé tour à tour le refroidissement, le dépôt à la suite d'une dissolution, l'état liquide antérieur, et nous n'avons trouvé qu'une seule circonstance commune : l'action et le progrès croissant de la cohésion moléculaire ou solidifiante, but auquel tendent, d'ailleurs, toutes les autres circonstances, qui sont toutes des antécédents plus éloignés et divers de cet unique antécédent commun. L'examen de tous les cas étudiés nous permet de généraliser le phénomène aussi bien que d'établir la généralisation sur l'évidence de la concordance.

La recherche que nous venons de faire présente manifestement un cas de causalité. Nous avons cherché toutes les circonstances, tous les antécédents qui se présentent dans le cas où un corps amorphe se cristallise, et nous avons trouvé qu'il y a partout et toujours une dépense et un nouvel emploi de force et d'énergie. Le résultat de cette dépense n'est pas une manifestation active, comme dans le cas où nous produisons un mouvement mécanique ou de la chaleur; c'est simplement un arrangement, une

distribution des molécules, un cas déjà étudié (p. 47), parmi les résultats que produit la dépense de la force.

Sixième exemple. Appliquons enfin la méthode de concordance à la recherche de la cause ou de la condition essentielle qui produit et conserve la lumière.

La circonstance la plus générale est l'élevation de la température. Les corps solides deviennent lumineux à une température de 980 à 1,000 degrés Fahrenheit. Il y a sur ce point une remarquable unanimité. On remarque, toutefois, que les gaz ne deviennent jamais lumineux à cette température, ni même à une température plus haute. Un courant de gaz peut être porté à une température de 2,000 degrés Fahrenheit et plus, sans devenir lumineux; de là nous pouvons conclure que l'état du corps est aussi une condition de la production de la lumière. D'autre part, l'étincelle électrique est un effet lumineux, dont l'antécédent est une décharge électrique. Mais comme il est possible que la violence de la décharge donne lieu à un accroissement soudain de la température, on pourrait soutenir que la chaleur est encore ici sous une autre forme la cause de la lumière. Pour rejeter cette hypothèse il faudra, par une variation habile des cas, montrer que l'élevation de la température n'est pas l'antécédent essentiel de l'étincelle électrique. En premier lieu, certaines substances produisent de la lumière à des températures peu élevées : c'est ce qu'on appelle la phosphorescence. Quelques minéraux, faiblement chauffés, produisent une légère lumière qui disparaît aussitôt, et qui ne peut se renouveler que si le corps a été préalablement exposé au soleil ou à l'étincelle électrique. C'est encore là une forme de la chaleur, mais non de la chaleur intense nécessaire pour produire ordinairement la lumière. Plus remarquable encore est la phosphorescence animale du ver luisant, de la mouche de feu, de quelques animaux marins. Ici la circonstance essentielle est un mode spécial de vitalité, qui n'a pas encore été considéré par nous, et qui exclut la condition d'une haute température (M. H. Spencer suggère que c'est une particularité qui tient à

l'oxydation). Enfin, en dernier lieu, un faible rayon de lumière brille quelquefois au moment où certaines substances se cristallisent.

Nous pouvons, d'après ces faits et d'après la méthode de concordance, conclure que les corps solides chauffés sont lumineux à la température de 1,000 degrés, et qu'une décharge électrique est lumineuse; mais nous ne pouvons, pour le moment, proposer aucune généralisation plus vaste. Excepté le fait très-général que la lumière est précédée d'un dérangement moléculaire d'une espèce ou d'une autre, dérangement que nous sommes incapables de caractériser dans ses rapports déterminés avec l'effet produit, notre comparaison ne nous montre aucune circonstance commune. Pour le moment, nous devons regarder la lumière comme l'effet d'une pluralité de causes.

Nous pourrions citer encore, comme exemples d'applications de la méthode de concordance, la coïncidence du sommeil avec la diminution de la force nerveuse, ce qui trahit une faible circulation cérébrale; la liaison de la mémoire avec l'intensité de la conscience actuelle. L'uniformité de ces liaisons au milieu de la diversité des autres circonstances, telle est l'espèce d'évidence que nous apporte la méthode de concordance. La loi de la relativité de toute connaissance est établie en partie par la concordance, en partie par la méthode des variations concomitantes, comme nous le montrerons plus loin.

L'évidence de la concordance est proportionnée à l'exactitude de l'élimination. Toute circonstance qui n'a pas été éliminée peut être la cause réelle du phénomène. Il y a un grand nombre de cas, comme par exemple l'action des drogues, où la nature ne nous fournit pas le nombre d'exemples suffisant pour rendre possible une élimination complète. La complexité des espèces naturelles dépasse tous les moyens d'explication que nous présente la méthode de concordance réduite à elle-même.

Méthode de différence.

3. La méthode d'élimination par différence peut être formulée dans la règle suivante: Si un cas où un phénomène se présente et un cas où il ne se présente pas ont toutes leurs circonstances communes hors une seule, celle-ci se présentant seulement dans le premier cas, la circonstance, présente dans le premier cas et absente dans le second, est la cause, ou une partie de la cause du phénomène.

Nous supposons deux cas et seulement deux. Chacun est un groupe complexe de phénomènes, d'antécédents, que suit un autre groupe de conséquents. Ces deux successions complexes de phénomènes ne diffèrent que par une seule succession qui se présente dans le premier cas et qui ne se présente pas dans le second. Ainsi la succession ABCD produit *abcd*; et BCD produit *bcd*; il n'y a d'autre différence que la présence de A comme antécédent et de *a* comme conséquent dans le premier cas, et l'absence de ces mêmes phénomènes dans le second cas. Supposons que ABCD devienne BCD par la perte de A, si en même temps *abcd* devient *bcd* par la perte de *a*, nous aurons dans ce fait une preuve de la connexion qui lie A avec *a*. En réalité ces deux expressions sont identiques; dire que la disparition d'une chose est suivie de la disparition d'une autre, rien n'étant changé dans le reste, c'est purement exprimer d'une autre manière la connexion causale.

La méthode de différence joue un grand rôle dans nos inférences journalières. La forme habituelle sous laquelle elle se présente consiste dans l'introduction soudaine de quelque agent déterminé, que suit un changement également déterminé.

Lorsque l'action de boire est suivie de la cessation de la soif, nous n'hésitons pas à prononcer que le second fait est la conséquence de l'autre. Sans doute la machine humaine est d'une grande complexité; mais, comme dans l'exemple que nous examinons il n'y a pas d'autres changements qui se soient produits, d'une minute à l'autre, que

la succession de l'acte de boire et de la cessation de la soif, nous avons le droit de présumer qu'il ne s'est pas écoulé assez de temps pour qu'un autre changement se soit produit. De même lorsque nous éveillons un dormeur en faisant du bruit, lorsque nous produisons de la lumière en frottant une allumette, nous inférons l'existence d'un rapport de causalité, l'action nouvelle étant immédiatement suivie d'un effet nouveau.

Le premier exemple rapporté à la méthode de concordance peut être prouvé aussi par différence. Que la chaleur est la cause de la fonte de la glace, de la fusion du plomb, c'est une liaison que nous démontrons en produisant dans ces substances un seul changement qui consiste à élever leur température. Comme nous sommes complètement certains que, dans la transformation de la glace en eau, il n'y a pas eu d'autre changement que celui-là, nous avons là une expérience de différence qui nous donne le droit de conclure que la chaleur est bien la cause du phénomène.

La comparaison de la même substance sous deux états différents, à l'état solide et à l'état liquide, à l'état amorphe ou à l'état de cristallisation, nous permet de déterminer quels effets sont dus au changement d'état. Ainsi le charbon de bois, non cristallisé, est noir opaque et conducteur de l'électricité; cristallisé dans le diamant, il est transparent, et n'est plus conducteur.

Une grande partie de nos connaissances naturelles dérive de ce fait que, après avoir expérimentalement produit certains changements dans les objets, nous observons les conséquences de ces modifications. La preuve ici est le résultat lui-même, le résultat immédiat. Dans presque tous les cas, le résultat immédiat suffit pour nous procurer une évidence satisfaisante. Ainsi, en médecine, il est difficile de douter de l'action efficace des purgatifs, de l'émétique, des sudorifiques, des diurétiques, des narcotiques, des stimulants, des irritants; il ne peut y avoir d'incertitude que pour les toniques, les altérants, enfin pour les remèdes employés dans le traitement lent des maladies chroniques. L'action de

la quinine, dans la fièvre, est établie de façon à dissiper toute incertitude.

Quel que soit l'agent qui s'ajoute ou qui se retranche, le changement qui en résulte immédiatement en est évidemment l'effet. Même en politique, nous avons des preuves fondées sur la différence; par exemple, dans l'avènement ou dans la retraite d'un ministre, comme Chatham. Aucun autre événement, parmi ceux qui s'accomplissent dans le cours ordinaire d'une année, n'aurait pu produire le changement total de politique qui suivit l'entrée de Chatham au ministère. On ne saurait contester qu'il ait été la cause (dans le sens pratique du mot) de nos succès en Amérique et sur le continent européen. Les conséquences de sa retraite sont également décisives pour établir, d'après la méthode de différence, la vaste supériorité de ses qualités administratives.

Partout où la différence peut être employée, on arrive du premier coup à la connaissance de la cause. Dans les cas ordinaires, la méthode est d'une application si facile, elle est si décisive et si satisfaisante, qu'il est à peine nécessaire qu'un maître vous aide à la comprendre. Ici l'enseignement de la logique consiste surtout à montrer de quelles précautions il faut s'entourer, dans quelques cas plus compliqués que les autres.

Dans la physiologie, les fonctions des nerfs sont déterminées par l'expérience qui consiste à les couper successivement et à considérer les effets qui en résultent. La fonction qui est interrompue, aussitôt après que le nerf a été coupé, est évidemment due à ce nerf, ou tout au moins exige l'intégrité de ce nerf comme l'une des conditions nécessaires à son développement. De pareilles expériences, néanmoins, ne suffisent pas pour découvrir l'ensemble des conditions qu'implique la fonction. Nous savons par elles que l'intégrité de l'épine dorsale est nécessaire à la sensation et à la production du mouvement dans le tronc et dans les extrémités du corps; mais elles ne nous apprennent pas quelles sont les autres conditions également né-

cessaires. Si nous voulons pousser jusque-là nos investigations, nous devons multiplier nos expériences sur les diverses parties du cerveau. Si la destruction d'une partie quelconque du cerveau suspend l'accomplissement de la fonction, cette partie doit être comptée parmi les conditions causales : sinon, non.

L'extension des expériences de ce genre au cerveau nous fournit un exemple où la méthode de différence ne décide rien. Des incisions profondes pratiquées dans le cerveau, en vue de modifier un seul organe, comme le cervelet, peuvent léser les organes voisins, de sorte que ces incisions ne donnent pas de résultats décisifs touchant les fonctions de l'organe spécial qu'on avait en vue. C'est sur cette remarque que Brown-Séguard fonde les objections qu'il adresse aux théories de Flourens sur les fonctions du cerveau. Dans ce cas, la seule inférence absolument légitime est que les fonctions qui subsistent dans leur intégrité, malgré la destruction de l'organe, ne sauraient être attribuées à ce seul organe. L'inférence contraire n'est certaine que dans l'hypothèse où la lésion serait rigoureusement circonscrite à la partie affectée.

Par analogie avec la coïncidence de la couleur rouge et de l'absence de tout parfum, nous citerons un cas apparent de différence, c'est celui de l'aubépine à fleurs rouges, et de l'aubépine à fleurs blanches : l'une est odorante, l'autre non. Vu la complexité des êtres naturels, nous ne pouvons guère être certains que le changement est rigoureusement limité aux circonstances apparentes. De plus, la différence est insuffisante pour prouver la coïncidence, partout où elle n'est pas un cas manifeste de causalité.

Sir G. C. Lewis prétend qu'une chose essentielle à la légitimité de la preuve par différence, c'est que nous puissions établir, par une induction préalable, que la cause supposée est généralement adéquate à la production de l'effet. Lorsque nous inférons qu'un homme, blessé au cœur, tombe mort, nous avons besoin de savoir préalablement, d'après une règle générale, qu'une blessure au cœur

est une cause de mort. Nous répondrons à cette observation que pratiquement nous devons faire usage de ces connaissances préalables, mais ces connaissances ne sont pas essentielles à l'application de la méthode de différence. Pourvu que nous soyons entièrement sûrs que le nouvel agent est le seul changement qui ait précédé l'effet, l'expérience est décisive, *d'après la loi de causalité unique*. L'utilité d'une induction, plus générale, sera seulement de suppléer au défaut de certitude de l'expérience elle-même. Il peut y avoir, en effet, d'autres causes inaperçues, qui agissent aussi bien que la cause supposée sur le phénomène en question ; et c'est là le seul motif pour invoquer une présomption générale, ou pour multiplier les expériences semblables. Dans la pratique, nous devons à la fois chercher s'il n'y a pas des présomptions générales (des inductions antérieures) qui justifient l'induction particulière, et multiplier les expériences ; mais un seul cas de différence, si on le suppose parfait, et toujours, bien entendu, dans les limites du rapport de causalité, un seul cas est par lui-même décisif.

Il est facile de comparer la méthode de concordance et la méthode de différence, au point de vue de leurs avantages et de leurs désavantages respectifs. La concordance suppose un grand nombre d'expériences, mais ces expériences n'ont pas un caractère restreint. Toute expérience qui élimine un des antécédents contribue au résultat ; la répétition du même exemple est utile seulement comme fournissant des moyens de sélection. La méthode de différence suppose une seule expérience, mais cette expérience a un caractère très-spécial et n'est que rarement possible.

On accroît d'une façon considérable la portée de la méthode de concordance en l'étendant à la concordance dans l'absence. Lorsque des cas de ce genre s'ajoutent à ceux où se produit la concordance dans la présence, la méthode acquiert, ou peu s'en faut, le caractère décisif de la méthode de différence. Ce double emploi de la méthode de concordance est expliqué par M. Mill, sous les désignations

suivantes : « la méthode complexe de concordance et de différence » ; ou bien : « la méthode indirecte de différence » ; on pourrait encore l'appeler : « la méthode de la double concordance ».

Double méthode de concordance et de différence.

4. La règle de cette méthode sera : Si deux ou plusieurs cas, où le phénomène a lieu, ont une seule circonstance commune, tandis que deux ou plusieurs cas, où il n'a pas lieu, n'ont rien de commun que l'absence de cette circonstance ; la circonstance par laquelle seule les deux séries de cas diffèrent, est l'effet, ou la cause, ou tout au moins une partie essentielle de la cause du phénomène.

Si nous voulons prouver par cette méthode que A est la cause de a, ou a l'effet de A, nous joindrons aux expériences qui constatent la présence uniforme de A et de a, d'autres exemples qui constatent leur absence constante : ainsi B F G suivis de b f g, C H I suivis de c h i. Si nous constatons que jamais A ne fait défaut dans l'antécédent, sans que a ne fasse aussi défaut dans le conséquent, il est évident que nous tirons de là une forte présomption nouvelle que A et a sont unis entre eux par un rapport de causalité. De sorte que notre affirmation se rapprochera de la certitude qui nous est fournie par la méthode de différence.

Ainsi, pour confirmer la supposition que la méthode de concordance nous suggère, sur la cause de l'influence pernicieuse du vent du nord-est, nous pourrions invoquer ce fait que précisément le vent du sud-ouest, dont le souffle est pur et salutaire, ne présente pas la circonstance considérée comme cause. Ce vent descend vers nous des hautes régions de l'atmosphère, où les impuretés sont disséminées et plus rares.

Revenons encore au phénomène de la cristallisation. Revoyons la liste des solides non cristallisés ; notons leur

mode de formation. Les pierres et les rochers amorphes, comme la pierre à sable, la craie, etc., passent pour être les dépôts sédimentaires de l'eau. Avant de se solidifier, ces substances existaient déjà à l'état de molécules solides ; elles n'étaient point dissoutes dans l'eau ; elles n'existaient pas à l'état de liquéfaction. Cette concordance dans l'absence pourra confirmer le résultat que nous tirons de la concordance dans la présence, à savoir que les cristaux existaient dans une condition antérieure liquide ou gazeuse. Mais l'inférence générale, fondée sur la comparaison complète des exemples, était que l'attraction moléculaire pouvait plus facilement contre-balancer la répulsion moléculaire. Or ce fait général manque dans tous les dépôts purement sédimentaires : ces corps n'ont rien qui favorise l'attraction moléculaire, sous forme de perte de chaleur ou pour toute autre cause.

La comparaison des roches amorphes suggère une autre circonstance, à savoir le *mélange irrégulier de différentes substances*. Car, bien que dans un sédiment la silice ou l'aluminium soit la substance dominante, elle n'y est jamais pure, et le mélange de différents éléments est un obstacle à la cristallisation, à moins qu'ils ne soient de l'espèce appelée isomérique (à cause de la ressemblance de cristallisation). Il y a quelque chose de plus à obtenir dans les composés cristallins d'éléments différents, et les cristaux doivent manquer de régularité.

Une autre catégorie de corps non cristallisés comprend les tissus des végétaux et des animaux. Dans ce cas cependant les antécédents sont trop compliqués pour nous éclairer, quoiqu'il y ait chez eux un système, un ordre d'agrégation, qui les rapproche plutôt des corps cristallisés que des corps amorphes.

Une troisième classe comprend les colloïdes, ou corps visqueux de Graham (la gomme, la gélatine, l'albumine, le tannin, le caramel, l'amidon) ; ces corps ne se présentent pas seulement sous forme visqueuse, ils renferment des corps solides comme le caillou. Les points de contraste entre ces

corps et les corps cristallisés sont importants et nombreux. Leur mode de formation est différent; beaucoup d'entre eux sont les produits des corps vivants, et participent par suite à la complication de l'organisme. Le caillou est un agrégat de particules de silice, particules qui étaient à l'origine des écailles d'animaux, et qui sont, par conséquent, organiques dans leur formation. Dans ce cas, l'attraction moléculaire de la silice, dans sa tendance à la cristallisation, est contrariée par les formes préexistantes des particules de silice.

Il faudrait une trop longue discussion pour montrer l'importance des particularités que présentent les colloïdes quant aux antécédents de la forme cristalline. Mais nous en avons assez dit pour faire comprendre la méthode de la concordance dans l'absence.

Méthode des variations concomitantes.

5. Règle de la méthode: — Tout phénomène qui varie de quelque manière, partout où un autre phénomène varie de la même manière, est une cause ou un effet de ce phénomène, ou est lié avec lui par quelque relation de concomitance.

Les effets de la chaleur ne sont connus que grâce aux variations proportionnelles. Nous ne pouvons dépouiller entièrement un corps de sa chaleur; la nature de l'agent nous en empêche. Mais, en produisant des changements dans la quantité de la chaleur, nous déterminons des changements proportionnels dans les circonstances concomitantes, et nous pouvons établir de cette façon une loi de causalité. C'est ainsi que nous arrivons à la loi de la dilatation des corps par la chaleur. De la même manière nous prouvons l'équivalence de la chaleur et de la force mécanique, comme une application particulière de la grande loi de la persistance et de la conservation de la force.

La preuve de la première loi du mouvement, telle qu'elle

est donnée par Newton, se présente sous la forme des variations concomitantes. Sur la terre, il n'y a pas d'exemple de mouvement qui persiste indéfiniment. Mais, à proportion que les obstacles qui s'opposent ordinairement au mouvement — le frottement et la résistance de l'air — sont écartés ou diminués, le mouvement des corps se prolonge davantage. Dans les expériences de Borda sur le pendule, l'oscillation a été prolongée plus de trente heures, en diminuant le frottement, et en raréfiant l'air. Or, en comparant tous les cas, depuis la suspension la plus rapide du mouvement jusqu'à son prolongement le plus durable, nous trouvons qu'il y a une concomitance rigoureuse entre la force de l'obstacle et la rapidité de la suspension; de là nous inférons que, si les obstacles étaient complètement supprimés, le mouvement serait perpétuel.

L'expérience célèbre, par laquelle on porta le baromètre sur le sommet du Puy-de-Dôme, était une preuve par variations concomitantes du rapport qui existe entre la pression de l'air et la hauteur du mercure.

Par les variations concomitantes nous obtenons une des preuves du rapport qui lie le cerveau et l'esprit. De la même façon nous associons la santé avec les agents salubres, et les maladies avec les agents morbides.

La théorie qui fait du changement de l'impression une condition essentielle de la conscience, et sur laquelle s'appuie la théorie de la relativité, appliquée à la sensibilité et à la connaissance, trouve surtout sa preuve dans les variations concomitantes. L'intensité d'une impression mentale varie d'une façon notable, selon que la transition d'un état à un autre est plus ou moins marquée; c'est ce que prouve, par exemple, l'influence de la nouveauté, de tous les grands changements, de la surprise et des événements inattendus.

Les statistiques criminelles révèlent les causes des crimes par la méthode des variations. Lorsque nous constatons que les crimes diminuent à proportion que le travail est plus abondant, que les habitudes de tempérance se développent,

que les moyens d'information se multiplient, ou enfin selon que l'on adopte tel ou tel système de punition, nous pouvons présumer une connexion de causalité, dans des circonstances qui ne se prêtent pas à la méthode de référence.

La concomitance peut se présenter sous forme de proportions en sens *inverse*. Ainsi nous trouvons que la tendance à l'action chimique entre deux substances augmente à proportion que leur cohésion diminue : elle est plus grande entre les liquides qu'entre les solides. De même plus élevée est l'altitude de la terre, plus basse est la température, et plus pauvre la végétation.

Les variations parallèles sont quelquefois troublées à des endroits critiques, comme dans la dilatation des corps par la chaleur; cette loi, en effet, est renversée lorsqu'on se rapproche du point de congélation. D'autre part, les effets d'une solution ne sont pas toujours en proportion avec son degré de dilution. Une solution très-diluée peut exercer un pouvoir spécifique que ne possède pas une solution plus condensée. De même, dans le corps des animaux, les aliments et les stimulants n'agissent proportionnellement que jusqu'à un certain point à partir duquel leur action est contrariée par certaines particularités de l'organisme.

Les propriétés de gaz très-raréfiés ne manifestent pas une continuité exacte dans les phénomènes qui varient avec la densité. Dans le vide parfait, il n'y a pas de décharge électrique; mais les variations de ce phénomène, dans un air très-raréfié, ne suivent pas proportionnellement les degrés de la raréfaction.

Nous ne pouvons pas toujours, d'après quelques pas faits dans une série, appliquer notre inférence à la série entière, soit à cause de ces points critiques qui viennent d'être signalés, soit parce qu'aux termes extrêmes d'une série on voit apparaître des puissances nouvelles et inattendues. Sir Herschell remarque que jusqu'à ces derniers temps « les formules déduites empiriquement de l'élasticité des vapeurs, de la résistance des fluides, et de sujets sem-

blables, ont presque toujours été impuissantes à supporter les constructions théoriques que l'on avait fondées sur elles ».

La méthode des variations concomitantes est utile pour suggérer des connexions causales, de même qu'elle est efficace pour les prouver. L'esprit est naturellement excité à unir deux circonstances, par suite des cas multiples où il les trouve à des degrés inégaux. Très-souvent nous hésitons à supposer un rapport de cause et d'effet, tant qu'une manifestation extraordinaire de l'une des circonstances n'a pas été suivie d'une manifestation extraordinaire de l'autre. Nous pouvons longtemps user de quelque aliment nuisible sans nous en douter; nous ne nous en apercevons que lorsque, après avoir par accident usé de cet aliment dans des proportions extraordinaires, nous voyons s'aggraver une sensation désagréable correspondante. C'est là un exemple de l'efficacité d'un cas extrême, efficacité que l'on reconnaît à la fois dans la science et dans la rhétorique.

Un cas remarquable de variations concomitantes nous est fourni par le rapport qu'on a découvert entre les taches du soleil et les positions des planètes. Ainsi, pour ce qui regarde Vénus, les taches sont plus proches de l'équateur solaire, lorsque la latitude héliographique de Vénus est 0°, et réciproquement.

Un procédé important pour découvrir, et aussi pour prouver les lois de causalité, consiste à distribuer dans une série tous les objets qui possèdent en commun une même propriété, selon qu'ils la possèdent plus ou moins. Ainsi nous distribuerons les corps selon leur degré de transparence ou d'opacité, de poids spécifique, de conductibilité pour la chaleur et l'électricité, et ainsi de suite. Nous sommes ainsi en mesure de découvrir l'accroissement proportionnel de quelque autre qualité, et par suite d'établir une loi de concomitance ou de causalité. Cette méthode est désignée par M. Mill sous le nom de classification par séries, et par M. G. C. Lewis, comme la méthode de compa-

raison continue. Le progrès de la vie dans l'échelle des animaux, le progrès du développement de l'esprit dans les êtres vivants, les progrès des institutions sociales, comme le gouvernement, la justice, le système représentatif, peuvent être exprimés dans des séries, de façon à préparer les découvertes de variations concomitantes.

Il est à désirer que, dans la science physique, toutes les substances de la nature soient disposées ainsi dans des tables distinctes, selon qu'elles possèdent plus ou moins chaque propriété importante. Ainsi, c'est après avoir distribué les corps transparents d'après leur pouvoir de réfraction, que l'on a découvert le rapport qui existe entre un pouvoir considérable de réfraction et la combustibilité.

Méthode des résidus.

6. La règle de la méthode des résidus s'exprime ainsi : — Retranchez d'un phénomène la partie que d'après des inductions antérieures l'on sait être l'effet de certains antécédents, et le résidu du phénomène est l'effet des antécédents qui restent.

Lorsqu'on a fait quelques progrès dans la détermination inductive des causes, les nouveaux problèmes sont très-simplifiés parce que l'on peut alors retrancher d'un effet complexe toutes les influences qui doivent être attribuées aux causes déjà connues. Quelquefois même ce procédé peut nous conduire à une élimination complète : on l'appelle méthode des résidus. C'est un instrument de découverte non moins que de preuve.

On représente symboliquement cette méthode de la façon suivante : Supposons les antécédents A, B, C, suivis des conséquents *a, b, c*; supposons que par des inductions préalables nous nous soyons assurés que B produit *b*, et C produit *c*. Alors par soustraction nous trouvons que A est la cause de *a*. L'opération est au fond la même que celle de la mé-

thode de différence. Elle a le caractère décisif de cette dernière méthode.

Sir John Herschell a montré le premier l'importance qu'il y a à étudier les résidus. Ses exemples sont très-frappants (*Introduction à la philosophie naturelle*, p. 136). Ainsi le retard de la comète d'Encke a suggéré l'idée et suffira peut-être à fournir la preuve de l'existence d'un milieu résistant, répandu dans l'espace. D'un autre côté, l'expérience d'Arago, — qu'une aiguille aimantée s'arrête plus vite lorsqu'elle a été suspendue sur une plaque de cuivre, — a été la première origine de la découverte de l'électricité magnétique.

Les anomalies observées dans les mouvements d'Uranus conduisirent Adams et Leverrier à la découverte de Neptune.

L'étude de l'odeur répandue par l'électricité fut le premier pas qui conduisit à la découverte de la substance remarquable appelée l'ozone.

Sir G. C. Lewis remarque que les effets inconnus des changements dans la législation, ou des progrès dans les arts utiles, peuvent souvent être discernés par la méthode des résidus. En comparant, par exemple, des statistiques, des registres de faits pour une série d'années, nous observons à certaines époques des circonstances nouvelles, qui ne peuvent être expliquées par les causes ordinaires, et qui doivent cependant avoir une cause. Pour ces résidus, nous cherchons une explication, jusqu'à ce qu'elle soit fournie par l'action accidentelle de quelque cause collatérale. Par exemple, en comparant les comptes des bœufs et des brebis vendus annuellement sur le marché de Smithfield, dans les dernières années, on constate qu'il y a un grand accroissement pour les bœufs, tandis que la vente des brebis est restée à peu près stationnaire. Il est naturel que la consommation de la viande ait augmenté, au moins en proportion de l'accroissement de la population de Londres. Mais il n'y a pas de raison pour supposer que la consommation du bœuf a augmenté plus que celle du mouton. Il y a

par conséquent un phénomène résidu, à savoir que la vente des brebis est restée stationnaire dans le marché de Smithfield. A cet effet il faut trouver une cause. Cette cause est l'accroissement des transports de *viande morte* que l'on dirige vers la métropole; accroissement qui est dû aux facilités que présentent les chemins de fer et les bateaux à vapeur, sans compter que le bœuf se prête plus que le mouton à être expédié sous forme de viande de boucherie.

La question de l'existence d'une force spéciale de vitalité, d'un principe vital ou d'une force vitale, prend la forme d'une recherche portant sur un résidu. Nous avons d'abord à tenir compte de toutes les forces connues de la matière inorganique, et, lorsque toutes ces forces ont été examinées, ce qui reste doit être rapporté à une influence spéciale ou à un principe vital. Pour tout ce que nous connaissons aujourd'hui, les forces *inorganiques*, agissant dans les *collocations spéciales* des corps organisés, suffisent pour expliquer tous les effets constatés.

La seule preuve d'une analyse complète, soit dans les phénomènes matériels, soit dans les opérations mentales, c'est que cette analyse ne laisse pas de reste. Ainsi, dans l'esprit humain, on discute pour savoir s'il y a une faculté distincte, appelée la faculté morale ou le sens moral. Or il ne peut être question de mettre en doute la présence, dans nos jugements moraux et dans nos actions, des éléments communs de la sensibilité, de la volonté et de la pensée. De même, dans la question du principe vital, il s'agit de savoir ce qui reste, lorsque tous les éléments communs ont été considérés. La même application de la méthode des résidus peut être faite dans la controverse sur les instincts ou les idées innées; on se demande alors si l'expérience, jointe aux facultés intellectuelles habituellement admises, peut rendre compte de tous les faits.

CHAPITRE VII.

EXEMPLES DES MÉTHODES EXPÉRIMENTALES.

Nous avons considéré les méthodes expérimentales uniquement comme des instruments d'élimination et de preuve, c'est-à-dire comme des moyens de distinguer les circonstances causales de celles qui sont simplement accessoires. Ces méthodes, néanmoins, conduisent à des généralisations inductives, et sous cet aspect elles sont de vraies méthodes de découverte. C'est par une même accumulation d'exemples, par une même comparaison de ces exemples une fois trouvés, qu'on arrive ou bien à déterminer de nouveaux principes, de nouvelles lois, ou bien à les prouver une fois qu'on les a découverts. Nous n'avons pas cependant l'intention de présenter un tableau complet des méthodes expérimentales, envisagées à ce nouveau point de vue. Dans les exemples divers qui vont suivre, nous ne ferons allusion que par occasion aux procédés qu'il faut employer pour découvrir des vérités générales.

Les preuves qui établissent que l'oxydation est la cause de l'odeur, peuvent être citées comme un exemple des méthodes expérimentales. Le phénomène est d'un grand intérêt et présente quelques difficultés. Les faits suivants, qui ont une importance considérable, ont été recueillis par Graham.

Les odeurs douces sont dues à des hydrocarbures, comme l'éther, l'alcool, et les parfums aromatiques. Or toutes ces