

U. G. P. P. P.
Nouvelle Collection scientifique

Directeur : Émile Borel

687/12

Mécanismes communs

aux

Phénomènes disparates

PAR

MICHEL PÉTROVITCH

Professeur à l'Université de Belgrade

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

MÉCANISMES COMMUNS

AUX

PHÉNOMÈNES DISPARATES

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

DANS LA MÊME COLLECTION

- L'Évolution des plantes**, par NOËL BERNARD. Préface de M. COSTANTIN, de l'Institut. 1 vol. in-16.
- Éléments de Philosophie biologique**, par F. LE DANTEC, chargé de cours à la Sorbonne. 3^e édition, 1 volume in-16.
- La Crise du transformisme**, par le MÊME. 2^e édition, 1 volume in-16.
- La Chimie de la matière vivante**, par J. DUCLAUX, chef de Laboratoire à l'Institut Pasteur. 2^e édition, 1 vol. in-16.
- Le Transformisme et l'Expérience**, par E. RABAUD, maître de conférences à la Sorbonne. 1 vol. in-16, avec figures.
- La Conception mécanique de la vie**, par J. LOBB, professeur à l'Université de Berkeley. Traduit de l'anglais par H. Mouton. 1 vol. in-16, avec figures.
- La Molécule Chimique**, par R. LESPIEAU, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 vol. in-16.
- L'Unité de la Science**, par M. LECLERC du SABLON, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse. 1 vol. in-16.
- L'Idéal Scientifique des Mathématiciens**, par Pierre BOUTROUX, professeur au Collège de France. 1 vol. in-16.
- Principe de Biologie Végétale**, par NOËL BERNARD, professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers. 1 vol. in-16 avec 18 figures dans le texte.
- Le Destin des Étoiles. Études d'Astronomie physique**, par SVANTE ARRHENIUS, directeur de l'Institut Nobel de Stockholm. Édition revue et augmentée. Traduction française par T. SEYRIC, ingénieur-constructeur, 1 vol. in-16.

007112

74

MÉCANISMES COMMUNS

AUX

PHÉNOMÈNES DISPARATES

PAR

MICHEL PETROVITCH

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE BELGRADE



53

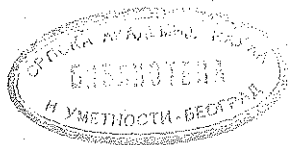
PARIS

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1921

Tous droits de reproduction, d'adaptation et de traduction,
réservés pour tous pays



№ 278063

AU PRINCE GEORGES DE SERBIE

*En souvenir de nos entretiens sur les sujets traités
dans ce livre.*

*Et en témoignage d'une amitié inaltérable et dé-
vouée.*

Mécanismes communs aux phénomènes disparates

INTRODUCTION

« Comprendre un phénomène, a dit Sir William Thomson, c'est pouvoir établir son modèle mécanique ». En émettant ce curieux aphorisme, le grand physicien avait surtout en vue les phénomènes physiques. Par « modèle mécanique » il entendait un système mécanique dont le fonctionnement serait régi par les mêmes lois mathématiques que le phénomène lui-même, ou du moins par lequel le phénomène serait *illustré*, au point de vue de son allure ou de son mécanisme, en le comparant à un phénomène mieux connu d'équilibre ou de mouvement. Les rôles de divers facteurs physiques dans le phénomène considéré seraient remplis, *figurés*, par le rôle de tel ou tel facteur mécanique dans le phénomène correspondant d'équilibre ou de mouvement ; dans l'un des deux phénomènes les particularités résultant d'un assemblage donné de facteurs et de conditions physiques seraient également illustrées par celles de l'autre. Par exemple, le fonctionnement d'une pile électrique se compare à celui d'une pompe rotative dont l'orifice

INTRODUCTION

de sortie serait réuni à l'orifice d'entrée par un tube, remplissant lui-même le rôle de circuit électrique, l'intensité du courant électrique étant elle-même figurée par la vitesse du courant liquide, le potentiel électrique par la différence de niveau de deux bassins à liquide réunis par un tuyau. Le phénomène de fluctuations électriques dans un circuit à résistance et à self-induction sensibles, avec une pile intercalée dans le circuit, est illustré par le mouvement d'un volant muni d'ailettes dans un milieu résistant : le rôle de l'intensité du courant y est joué par la vitesse angulaire du volant ; celui de la force électromotrice de la pile par le couple moteur ; celui de la résistance électrique par la résistance du milieu, et le rôle de la self-induction spécifique par le moment d'inertie du volant. De même, la décharge d'un condensateur électrique est illustrée par le mouvement d'un pendule dans un milieu résistant : le fonctionnement des bobines d'induction par celui des béliers hydrauliques ; les phénomènes d'aimantation par des phénomènes élastiques, et plus particulièrement par ceux de torsion ; un explosif est comparé au ressort puissamment tendu et maintenu par un cliquet ; la détonation de l'amorce (fulminate) se compare au mécanisme faisant échapper le cliquet en libérant le ressort et en déchaînant les forces d'explosion, etc.

L'idée d'étendre littéralement l'aphorisme de Sir W. Thomson à des phénomènes *quelconques* ferait, au premier abord, penser aux grossiers automates de Vaucanson, imitant des animaux vivants avec des combinaisons de ficelles et des morceaux de bois ; ou bien aux iatro-mécanismes à la mode chez les médecins du xvii^e et du

xviii^e siècles, qui tentaient d'expliquer le fonctionnement du corps humain par les lois de la mécanique. Dans ces mécanismes, par exemple, les muscles étaient des ressorts, les viscères des filtres, les organes du mouvement des instruments mécaniques ; la digestion, la chaleur animale, l'hématose, la sécrétion, le cours du chyle, le fonctionnement des organes, etc. s'expliquaient par des lois mécaniques, hydrostatiques ou hydrauliques.

Si l'on prend le mot « mécanique » dans l'acception littérale et restreinte qu'on lui donne d'ordinaire et qui se rapporte à une partie limitée des sciences physiques, celle où l'on étudie les mouvements et l'équilibre des corps, on se refuse, de prime abord, à admettre que les facteurs jouant un rôle dans les phénomènes biologiques, psychologiques ou sociaux, puissent être si bien symbolisés par les rôles des facteurs mécaniques. On a peine à admettre que leurs modes d'interventions et les conséquences qu'elles entraînent dans les phénomènes disparates correspondants, y soient exactement les mêmes. D'autre part, les phénomènes dont on peut connaître les lois mathématiques sont en nombre relativement très restreint et de nature toute spéciale ; la grande majorité en restera à jamais inaccessible. Il faudrait donc considérer la plupart des phénomènes comme *incompréhensibles*, si l'on s'en tenait au sens étroit de l'aphorisme de Sir W. Thomson.

Cependant, cet aphorisme convenablement interprété, affranchi du point de vue spécial d'où il tire son origine et du sens étroit qu'on serait porté à lui attribuer, a un sens profond, même si l'on considère la généralité des phénomènes, accessibles ou non aux investigations de

INTRODUCTION

l'analyse mathématique. D'une part, en effet, il se trouve qu'aux notions de rôles on peut donner une forme indépendante de la nature concrète des leurs porteurs et de celle des conséquants qui s'y rattachent, de même que les notions géométriques sont indépendantes de la nature concrète des objets auxquels elles se rattachent. De même il est possible de donner à la description des phénomènes de toute espèce une forme indépendante de la nature concrète du phénomène, *uniforme* pour les phénomènes de toute espèce et de toute nature. D'autre part, il y a des manières de parvenir à *comprendre* des phénomènes sans qu'il soit absolument indispensable d'arriver à en connaître les lois mathématiques précises. Dans ce but le point de vue auquel il convient de se placer serait le suivant.

*
**

Parmi la prodigieuse diversité des phénomènes naturels se rencontrent des phénomènes d'ordres différents présentant des ressemblances frappantes. Il n'est point rare qu'un phénomène rappelle, par certaines de ses particularités, un autre phénomène n'ayant avec lui aucun rapport concret. De telles ressemblances donnent lieu à des métaphores dont on se sert fréquemment, aussi bien dans le langage courant que dans les diverses branches des sciences. Rappelons, par exemple, la comparaison entre tel phénomène et le torrent dont la force destructrice grandit avec l'obstacle qu'on lui oppose ; la comparaison de divers phénomènes brusques, instantanés, avec celui du choc mécanique. Des phénomènes de nature variée (mécaniques, physiques, physiologiques,

sociaux, etc.) consistant en oscillations lentes entre deux états extrêmes, sont souvent comparés au mouvement rythmique d'un pendule, à la marée, à son flux et reflux ou à des mouvements péristaltiques dans l'organisme. On compare tel ou tel phénomène historique, sociologique, etc. au mouvement pendulaire amorti ou à la propagation progressive d'une onde ; les mouvements internes vifs et mal déterminés des grandes masses humaines sont comparés à la fermentation ; l'atavisme l'est à certains phénomènes d'hystéresis ; certains états d'âme à la mer ballotée ; certaines brusqueries de tempérament, suivies immédiatement de grands calmes, à des explosions ou aux décharges électriques, etc. Et ce sont surtout les phénomènes mécaniques ou physiques qui fournissent les termes de comparaison. On trouve des mouvements de flux et de reflux dans les affaires humaines ; le flux et le reflux des passions se rencontre si souvent peints par des poètes tragiques. On parle d'attraction et de répulsion entre les personnes, de la force d'inertie des peuples, du refroidissement de l'enthousiasme, de la marée montante d'indignation, de la cristallisation d'une opinion généralement admise, de l'aberration de l'esprit, du courant de l'opinion publique, du ressort moral. On assimile un homme qui délibère à une balance penchant tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, suivant les poids qu'on met dans les plateaux. L'action nerveuse est comparée au courant électrique, le progrès oscillant d'un peuple aux mouvements de va et vient. L'on compare les sourds mouvements qui annoncent les révoltes aux lointains roulements de tonnerre annonçant la tempête, etc.

De telles métaphores cherchent à mettre en relief tel

INTRODUCTION

ou tel caractère du phénomène considéré : en comparant celui-ci à un autre phénomène, présentant avec lui des particularités communes, mais dans lequel ces particularités se manifestent d'une manière plus naturelle, plus claire, plus saisissante, on parvient à les faire saisir ou sentir plus vivement. La comparaison *illustre* ce qu'on voulait faire ressortir dans le phénomène primitif.

Mais ce n'est pas la seule intention d'illustrer les phénomènes ou de rendre le langage plus imagé qui a donné naissance à de telles métaphores. Souvent, celles-ci sont l'expression d'une profonde vérité entrevue, sentie ou soupçonnée. Parmi les ressemblances existant en nombre illimité entre les phénomènes, il en est qui, loin d'être fortuites ou dûes à des appréciations subjectives, révèlent une analogie réelle, consistant en *l'existence de particularités communes* que présentent les phénomènes disparates dans leur manière de se passer.

Tout d'abord, des phénomènes différents peuvent réellement présenter des *particularités d'allure* communes, soit dans le mode de changement d'un certain nombre de leurs éléments caractéristiques, soit dans l'image collective résultant de l'ensemble de ces changements. On a ainsi des *ressemblances d'allure* entre les phénomènes, plus ou moins complètes suivant le nombre et la nature de leurs particularités communes. Ces ressemblances peuvent revêtir toutes les nuances, depuis l'égalité complète jusqu'à la ressemblance la plus vague.

La ressemblance d'allure est, par exemple, complète entre les phénomènes exponentiels, consistant dans la décroissance progressive d'un élément caractéristique

suivant la loi simple représentée par une courbe exponentielle décroissante, comme le sont : 1° — le refroidissement progressif d'un corps solide dans un milieu tranquille, l'élément caractéristique étant la température du corps ; 2° — la déperdition de l'électricité sur la surface d'un liquide électrisé, par suite de l'évaporation ; 3° — la modification d'un composé chimique défini qui se transforme progressivement sous l'action d'un agent physique ou d'un ferment, l'élément caractéristique étant la quantité restante du corps transformable.

La ressemblance est aussi complète entre les phénomènes oscillatoires amortis, se manifestant par des variations d'un élément caractéristique suivant une loi figurée par une courbe sinusoïdale à amplitudes progressivement amorties, comme par exemple : 1° — le mouvement d'un pendule simple dans un milieu résistant, l'élément caractéristique étant l'élongation ; 2° — la décharge d'un condensateur électrique, l'élément caractéristique étant la charge électrique du condensateur ; 3° — le mouvement d'un liquide dans deux vases réunis par un tube horizontal, l'élément caractéristique étant la différence de niveau du liquide dans les deux vases.

La ressemblance d'allure est plus ou moins vague dans les phénomènes de la vie ordinaire, où elle trouve son expression dans des assimilations ou des comparaisons de phénomènes dans lesquels la particularité observée apparaît de manière plus évidente. Telles sont les assimilations déjà citées de nombreux phénomènes rythmiques au mouvement pendulaire, ou au flux et au reflux de la marée ; les comparaisons des phénomènes intensifs brusques au torrent, à la bourrasque, à l'orage, à l'oura-

INTRODUCTION

gan ; la comparaison de tel ou tel phénomène à la propagation d'une onde, etc.

Or, il y a une certaine manière d'*uniformiser* la description des phénomènes, quels qu'ils soient, de telle sorte que les particularités de leur allure se trouvent résumées dans le mode de mouvement d'un *point figuratif* du phénomène, défini dans l'hyper-espace par un système de coordonnées choisies de manière à ce qu'à chaque instant, la configuration du système détermine l'état correspondant au fait visé dans le phénomène. *La ressemblance d'allures d'un groupe de phénomènes se reflète alors dans des particularités que les mouvements des points figuratifs correspondants présentent en commun.* Le passage graduel ou brusque de couleur du rouge au vert et l'aggravation d'une maladie se traduisent par une même particularité de mouvement des points figuratifs respectifs : par leur déplacement dans la direction de la coordonnée correspondant à la couleur, ou au degré de la maladie, et dans le sens positif de cette direction ; les renforcements des intensités des deux phénomènes se reflètent dans l'accélération du mouvement de ces points ; l'évolution des phénomènes vers un état définitif stationnaire se traduira par l'approche du point d'une position asymptotique, la périodicité des phénomènes par le passage des points figuratifs par les mêmes positions à des intervalles de temps de même longueur, etc... Plus la ressemblance d'allures sera complète, plus il y aura de particularités communes dans les modes de mouvement des points figuratifs correspondant aux phénomènes du groupe.

D'une autre part, les éléments, les facteurs, les faits les plus disparates peuvent, dans des phénomènes d'ordre différent, *jouer des rôles semblables*, cette *ressemblance des rôles* étant susceptible de présenter toutes les gradations depuis l'égalité complète jusqu'à la ressemblance la plus vague.

Un pôle magnétique, par exemple, joue par rapport aux masses magnétiques, dans sa sphère d'action, le même rôle que joue un centre de gravitation universelle par rapport aux masses mécaniques environnantes. La nature du rôle d'un mur impénétrable heurté par une balle est la même que celle d'un écran opaque rencontré par un faisceau lumineux, ou bien celle de la rupture d'un contact électrique coupant un circuit.

Le rôle joué par l'état général d'un organisme affaibli, attaqué par des bacilles et consistant à favoriser l'envahissement du corps par les bacilles, est rempli de la même manière par la situation politique d'un pays facilitant tel ou tel événement.

Une charge électrique peut ainsi jouer, dans un phénomène électrique, le même rôle qu'un angle dans un mouvement rotatif, en ce sens que les rapports de ces deux éléments disparates aux faits qui les font varier et aux conséquences de ces variations dans les deux phénomènes respectifs peuvent être les mêmes. De même, et pour les mêmes raisons, dans un phénomène hydraulique la différence de niveau peut jouer le même rôle que l'élongation d'un pendule dans le mouvement oscillant de ce pendule ; la température dans un phénomène thermique remplit le même rôle que le potentiel électrique dans un phénomène électrique ; la force des-

INTRODUCTION

tructive de bacilles dans le développement d'une maladie microbienne, celui de la force transformatrice photochimique dans le noircissement de la plaque sensible exposée à l'action des rayons lumineux ; les habitudes dans la vie ordinaire peuvent jouer le même rôle que l'inertie mécanique dans les mouvements, etc.

Supposons qu'on ait groupé des rôles semblables dans les phénomènes disparates où ils interviennent et qu'on les affranchisse de tout ce qui les rattache spécialement à telle ou telle espèce concrète de phénomènes, en ne leur laissant que ce qui est indispensable pour qu'apparaisse seulement leur manière commune d'intervenir. On arrive alors à des *types de rôles* embrassant et schématisant tous les rôles spécifiques semblables dont on les a dégagés. On aura, par exemple, les types suivants dont chacun se retrouve sous une infinité de formes spécifiques dans les phénomènes naturels de toutes sortes : rôle d'élément descriptif du phénomène ; rôle de cause directe ; rôle de cause secondaire ; rôle de cause impulsive ; rôle de cause dépressive ; rôle de cause à loi quantitative ou qualitative déterminée ; cause invariable, rythmique, progressivement amortie, etc. ; rôle de cause réactive ; rôle de cause résistante ; rôle de cause instantanée ; rôle de l'inertie du phénomène ; rôle de liaison ; rôle exciteur ou provocateur ; rôle régulateur ou compensateur ; rôle coordinatif ; rôle de terrain ; rôle d'obstacle, etc.,

On peut dès lors considérer comme expliqué un phénomène dont on connaît : 1° l'assemblage de tout ce qui joue un rôle dans son existence ; 2° les types de rôles combinés entre eux dans cet assemblage ; et 3° lorsqu'on

a saisi comment un tel assemblage de rôles amène les particularités du phénomène comme conséquences nécessaires. Des telles connaissances équivalent à celle du *mécanisme* du phénomène.

Lorsque tout ce qui compose un tel mécanisme est réduit à ce qui est strictement nécessaire et suffisant pour que les particularités du phénomène correspondant apparaissent comme conséquences nécessaires, dégagé de tout ce qui le rattache spécialement à telle ou telle sorte de phénomènes concrets, on aura un *type de mécanisme* embrassant ceux d'une infinité de phénomènes disparates qu'il unit ainsi malgré leurs diversités possibles. C'est alors que tel groupe de phénomènes disparates apparaîtra comme étant dû, par exemple, au type de mécanisme suivant : changement d'un élément caractéristique sous l'action d'une cause impulsive invariable directement opposée à l'inertie du phénomène. — Un autre groupe de phénomènes disparates apparaîtra comme étant dû à un mécanisme de type suivant : changement d'un élément caractéristique sous l'action d'une cause dépressive variant en raison directe de son effet et directement opposée à l'inertie du phénomène. — Un troisième groupe appartiendrait au type de mécanisme consistant en changement de plusieurs éléments caractéristiques à la fois, sous l'action d'un assemblage de causes toutes périodiques et de mêmes périodes. — Un quatrième groupe serait dû à l'action simultanée d'un assemblage déterminé de causes impulsives et dépressives à lois qualitatives connues, opposées directement aux inerties du phénomène, cette action étant entravée par un assemblage de liaisons fixes, par des obstacles que

INTRODUCTION

rencontrent les changements des éléments au cours du phénomène et par l'apparition brusque de causes secondaires agissant de telle ou telle façon sur les causes directes déjà existantes, etc.

Chaque type de mécanisme implique un certain nombre de particularités qu'il impose au phénomène auquel il se rattache et qui sont à considérer comme conséquences nécessaires de sa composition. Les données quantitatives ou seulement qualitatives sur la composition du type de mécanisme permettent ainsi de prévoir des particularités correspondantes dans la manifestation des phénomènes appartenant à ce type, quelle que soit la diversité des formes extérieures spécifiques dans lesquelles ces particularités se traduisent dans le monde des phénomènes concrets.

Ainsi, dans les phénomènes à un élément caractéristique, dûs à l'action d'une cause impulsive ou dépressive sensiblement invariable, directement opposée à l'inertie de l'élément, celui-ci croîtra ou décroîtra indéfiniment au cours du phénomène, suivant que la cause sera impulsive ou dépressive; dans tous les cas, la loi de cette variation sera linéaire et le diagramme du phénomène sera une ligne ne différant pas sensiblement d'une droite.

Dans les phénomènes à un élément caractéristique, dûs à une cause dépressive qui se dépense, en agissant, en raison directe de l'effet produit, cet effet variera constamment dans un même sens, en décroissant et tendant asymptotiquement vers zéro. Le phénomène s'affaiblira de plus en plus et finira par s'éteindre au bout d'un temps

plus ou moins long suivant la grandeur de l'inertie rattachée à l'élément.

Un grand nombre de phénomènes disparates sont dûs à un mécanisme du type suivant : perturbations introduites au cours d'un phénomène déjà existant par l'apparition et la disparition subite de nouvelles causes directes instantanées. Dans le cas d'une seule cause instantanée, tendant, par son impulsion, à troubler le cours naturel d'un phénomène déjà existant, suivant l'instant où la cause apparaît, c'est-à-dire suivant qu'à cet instant le sens de variation de l'élément caractéristique coïncide avec le sens de l'impulsion ou bien lui est contraire, et aussi suivant la grandeur de l'inertie dans le phénomène à cet instant, l'effet de l'impulsion sera très sensible ou bien insensible, avec toutes les transitions entre ces deux extrêmes. Il en sera ainsi de toute la suite intermittente d'impulsions successives semblables. Dans les cas plus particuliers, présentant un intérêt pour l'explication de plusieurs phénomènes naturels, où les causes intermittentes sont de sens toujours contraire à celui de la vitesse de changement dans le phénomène, à l'instant où elles apparaissent, et d'autant plus intenses que cette vitesse est plus forte, le diagramme de leur effet se traduira par une courbe oscillante à oscillations très amorties, dont un nombre très restreint sera sensible.

Considérons le type de mécanisme suivant, embrassant certains phénomènes de la dynamique chimique : phénomènes à n éléments caractéristiques, liés par des faits introduisant $n-1$ liaisons fixes entre eux, chaque élément variant sous l'action d'une cause impulsive

INTRODUCTION

directement opposée à son inertie, chaque cause faiblissant progressivement au fur et à mesure qu'elle produit son effet, en s'évanouissant lorsque l'effet a atteint une grandeur limite. Chaque élément croîtra au cours du phénomène, mais de plus en plus lentement, tendant asymptotiquement vers une grandeur qu'il ne dépassera pas. Le phénomène lui-même, image collective des variations de ses éléments, tendra progressivement, de plus en plus lentement, vers un régime stationnaire duquel il ne sortira plus.

Lorsque le mécanisme comporte des influences de causes secondaires sur l'inertie spécifique du phénomène, tout ce qui n'agissant pas sur les causes directes, impulsives ou dépressives du phénomène, tendra à faire changer l'inertie spécifique d'un élément, aura son influence sur la marche du phénomène marqué : 1° — par le ralentissement de la croissance ou le renforcement de la décroissance de l'élément, dans le cas où il y a une tendance au renforcement de l'inertie spécifique de celui-ci; 2° — par le renforcement de la croissance ou le ralentissement de la décroissance dans le cas où il y a une tendance à l'affaiblissement de cette inertie.

Les éléments, facteurs et faits, auxquels peut se rattacher un type de rôle déterminé, faisant partie d'un type de mécanisme déterminé, sont infiniment variés suivant le phénomène spécifique considéré auquel le type se rattache.

La cause impulsive se retrouve, par exemple, tantôt sous la forme de force attractive des particules matérielles, tantôt comme force transformatrice dans les réactions chimiques, tantôt comme force destructive des

microbes dans une maladie, tantôt comme force impulsive du cœur réglant la pression et la vitesse de circulation du sang, comme force motrice des idées, comme tendance politique, etc.

La cause dépressive se manifeste en tant que pesanteur dans un mouvement ascendant, comme tendance de la lumière à diminuer la pression de l'eau dans les cellules de la fleur, comme fonction phagocytaire des microphages ou macrophages au cours du progrès d'une maladie, comme action modératrice de petits vaisseaux contractiles tendant à diminuer la pression et la vitesse de circulation du sang, comme action dépressive de certains états effectifs, entravant et même paralysant l'action motrice des idées dans la production des actes volontaires, etc.

Dans le phénomène de chute d'un corps dans le vide, le rôle de cause invariable est joué par la pesanteur ; le rôle de cause périodique par la force électromotrice en jeu dans les phénomènes de courant alternatif, par l'action de la lumière dans l'émanation du parfum des fleurs odorantes, par les composantes des forces attractives du soleil et de la lune dans les phénomènes de la marée. Dans une maladie microbienne, le rôle de cause croissante est joué par les bacilles se reproduisant et envahissant l'organisme ; au cours du développement des bacilles, le rôle de cause décroissante est figuré par l'action de la lumière ou par les propriétés bactéricides et antitoxiques des humeurs. Les excitations intermittentes du muscle cardiaque dans divers phénomènes physiologiques jouent le rôle de causes intermittentes, etc.

Le rôle de cause réactive, prenant naissance à l'appar-

INTRODUCTION

rition même des modifications d'un système d'éléments imposés par d'autres causes impulsives ou dépressives et s'opposant à ces modifications quel que soit leur sens, est joué, tantôt par la force électromotrice de l'induction, tantôt par la réaction de la rétine provoquée par les excitations lumineuses, tantôt par diverses causes : réactions sociales, etc.

Le rôle de l'inertie se retrouve, tantôt dans l'inertie mécanique dans les mouvements de translation, tantôt dans la force centrifuge dans les mouvements de rotation, tantôt dans diverses forces électromagnétiques dans les phénomènes électriques, tantôt dans la force de l'habitude, etc.

Le rôle excitateur (provocateur) est joué, tantôt par l'étincelle provoquant une explosion, tantôt par l'établissement d'un contact électrique déterminant une réaction chimique intense, par des incidents insignifiants en eux-mêmes déclanchant de graves événements, etc.

Le rôle de liaison se retrouve dans le fait qu'un point mobile est assujéti à rester constamment sur une courbe ou sur une surface ; dans la loi de Mariotte réglant les déformations élastiques des gaz parfaits ; dans les lois de Kirckhoff réglant la distribution de l'électricité dans un réseau de conducteurs ; par la loi de proportionnalité entre les quantités de corps chimiques, dépensées au cours d'une réaction chimique et les quantités de produits de réaction ; dans diverses corrélations entre des phénomènes physiologiques et psychologiques (diverses corrélations reflexes ; association des idées), etc.

Les particularités communes d'allure imposées par un

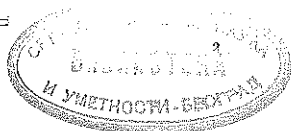
type déterminé de mécanisme à divers phénomènes disparates, revêtues de significations concrètes que comporte le phénomène naturel spécifique considéré, se traduisent aussi extérieurement sous la forme de particularités concrètes infiniment variées suivant la nature spécifique du phénomène.

Ainsi, la croissance d'un élément au cours du phénomène, imposée par tel ou tel type de mécanisme se traduit, tantôt par l'accélération de la vitesse de translation ou de rotation dans un mouvement, tantôt par la transition graduelle d'une couleur passant du rouge au violet, tantôt par l'échauffement d'un corps, ou par un courant électrique de plus en plus intense, par l'accélération d'une réaction chimique, par l'aggravation d'une maladie, etc.

La décroissance d'un élément peut se traduire par les changements de couleur dans le sens inverse au précédent, par le refroidissement d'un corps, par le ralentissement d'une réaction chimique par l'affaiblissement d'un courant électrique, par l'atténuation d'une maladie. Une décroissance très brusque peut se traduire par l'approche brusque ou le choc des corps, par la coagulation instantanée d'un colloïde, etc.

La périodicité du changement d'un élément se manifeste par le passage d'un mobile aux mêmes positions dans des intervalles de temps égaux, par le retour périodique du flux et du reflux dans le phénomène de la marée, par les variations périodiques de l'intensité du parfum des fleurs sous l'influence de la lumière solaire, etc.

Le caractère oscillant se manifeste, tantôt par les oscil-



INTRODUCTION

tions d'un pendule, tantôt par l'apparition d'un courant électrique alternatif, tantôt par les alternances d'aggravation et d'atténuation d'une maladie, etc, suivant la nature du phénomène considéré.

L'amortissement progressif des oscillations se retrouve dans l'immobilisation progressive d'un pendule, dans la disparition progressive d'un courant électrique alternatif, ou bien par sa transformation en courant continu ; dans l'entrée d'une société dans un régime stationnaire par une série d'oscillations de moins en moins intenses, etc.

Les particularités de l'allure collective du phénomène, auxquelles donne naissance la simultanéité des allures individuelles des éléments composants apparaissent également sous les formes extérieures les plus disparates dans divers phénomènes concrets. La combinaison des changements simultanés des coordonnées d'un point mobile isolé ou faisant partie d'un corps engendre la trajectoire du point, ou bien se traduit par le fait que le point reste constamment sur une surface ou sur une courbe déterminée. — La combinaison des changements simultanés de cinq éléments caractéristiques du mouvement d'une toupie sur un plan horizontal, dont deux sont, par exemple, les coordonnées du sommet, les trois autres étant des angles, se reflète dans l'image du mouvement complexe de la toupie. — La combinaison des vibrations simultanées de deux diapasons croisés se traduit par les figures optiques de Lissajoux. — De telles combinaisons peuvent également se traduire par des couleurs résultantes (par exemple celle des couches minces), par des phénomènes d'interférence. — La combinaison de symp-

tômes simultanés fournis par des éléments individuels engendre l'image collective de l'état d'une maladie, d'un climat, de l'état économique d'un peuple, etc.

Grâce à ce fait que des éléments très variés peuvent jouer les mêmes rôles dans des phénomènes spécifiques d'ordre divers et que les mêmes particularités d'allure peuvent apparaître extérieurement sous les formes concrètes les plus diverses, *il est possible de classer des phénomènes disparates dans les mêmes types de mécanisme.*

Ainsi, le mouvement descendant d'un corps pesant tombant dans le vide et le phénomène électrique consistant dans les modifications d'un courant dans un circuit de résistance et de self-induction négligeables, dans lequel se trouverait intercalée une pile électrique constante, apparaissent comme étant dûs à un même type de mécanisme qui est le suivant : changement d'un élément caractéristique sous l'action d'une cause impulsive, invariable et directement opposée à l'inertie de l'élément. Les éléments caractéristiques respectifs en sont : la vitesse du corps pour le phénomène mécanique et l'intensité du courant pour le phénomène électrique ; le rôle de cause impulsive invariable est joué par la pesanteur dans le premier et par la force électromotrice de la pile dans le second phénomène ; enfin, le rôle de l'inertie est rempli par les inerties mécanique et électrique.

Le phénomène de la marée et celui des variations périodiques du parfum dégagé par les fleurs au cours des alternances du jour et de la nuit, seraient également dûs à un même type de mécanisme qui consisterait en changements d'un élément caractéristique sous l'action d'un ensemble de causes périodiques et de même période. Les

INTRODUCTION

éléments caractéristiques en seraient : la hauteur du niveau de la mer à l'endroit considéré et l'intensité du parfum ; le rôle de cause périodique y serait figuré par les forces citées tout-à-l'heure.

Le mécanisme du phénomène de l'excitabilité oscillante du cœur, consistant en ce fait que les contractions ou les dilatations provoquées par une série d'excitations instantanées successives varient avec le temps écoulé depuis l'excitation antérieure et cela d'une manière rythmique, est réductible, comme on le verra au cours de cet ouvrage, au type de mécanisme suivant : perturbations provoquées par une suite discontinue de causes instantanées intermittentes, égales entre elles, dans un phénomène déjà existant qui, dans son cours naturel, aurait une allure oscillante. Le rôle de l'élément caractéristique y est joué par la grandeur d'excitabilité mesurée par les grandeurs des contractions positives ou négatives ; celui des causes intermittentes, par la suite d'excitations intermittentes. — Le même type de mécanisme se retrouve dans le phénomène électrique formant la base du procédé des signaux bridés de Sir W. Thomson, employé dans la télégraphie sous-marine, procédé qui consiste à envoyer dans le cable des forces électromotrices instantanées intermittentes, les instants d'envoi étant choisis de telle manière que le système récepteur s'amortit le plus vite possible et se rend ainsi capable d'une nouvelle transmission. — Le même type de mécanisme régit également le phénomène des ondulations rétiniennes, où les causes intermittentes se retrouvent dans certaines réactions rétiniennes, instantanées et de sens inverse à celles produites par l'action directe de la lumière.

Le mécanisme auquel M. Th. Ribot attribue la production des actes volontaires se laisse, dans ses grandes lignes, ramener au type général suivant : un assemblage de causes impulsives (tendances motrices des idées, d'autant plus fortes que l'élément affectif y est plus fort) et un assemblage de causes dépressives (tendances dépressives et réactives rattachées à certains états de conscience, par exemple à des sentiments, tendant à entraver, à affaiblir, à paralyser l'action des tendances motrices impulsives), dont l'action combinée est réglée par des facteurs jouant un rôle coordinatif et s'effectue au sein d'un assemblage de circonstances (caractère général de l'individu) jouant le rôle de terrain. On trouvera, au cours de cet ouvrage, l'analyse détaillée des conséquences du schéma et des particularités d'allure du phénomène psychologique qu'il embrasse.

Les mécanismes d'un grand nombre de phénomènes de toutes natures sont caractérisés par une certaine *spécificité* des effets des causes, imposée par le facteur jouant le rôle de terrain. Les phénomènes de résonance, qui se retrouvent dans diverses branches des sciences (résonance acoustique ; résonance électrique par exemple dans les réseaux de distribution des courants alternatifs ; résonance optique ; résonance dans les phénomènes de digestion, interprétés par F. Le Dantec comme une assimilation physique spécifique exercée sur un colloïde par l'être vivant et par l'intermédiaire de diastases) rentrent ainsi dans des types de mécanisme de cette espèce.

On entrevoit, d'ailleurs, la possibilité de classer des phénomènes de tous ordres : mécaniques, physiques, physio-

INTRODUCTION

logiques, psychologiques, sociologiques, etc., dans des *types communs de mécanisme*, à la condition de savoir discerner les éléments correspondants, jouant dans les phénomènes respectifs considérés les rôles assignés dans le type présumé de mécanisme. Et il importe de bien remarquer que tout ceci ne présuppose nullement des éléments et des facteurs de nature mécanique ou physique. Les rôles seuls interviennent dans la composition d'un type de mécanisme et dans les conséquences qui s'en suivent; *ces rôles peuvent être joués aussi bien par des facteurs d'ordre physiologique, psychologique, sociologique, politique, que par des facteurs mécaniques ou physiques, proprement dits*. C'est pour cette raison qu'on pourra parvenir à schématiser, à comprendre dans des types généraux de mécanisme un grand nombre de phénomènes inaccessibles aux explications mécaniques ordinaires. Le domaine des applications des types de mécanisme se trouve ainsi considérablement élargi, s'étendant bien au-delà du champ actuel des applications de la mécanique ordinaire.

* * *

Les phénomènes disparates, présentant ainsi des particularités communes de mécanisme et d'allure, constituent un *groupe d'analogie*, dans lesquels le *noyau d'analogie* est formé de l'ensemble de ces particularités communes. *Les noyaux de l'analogie transforment les ressemblances en rapports d'égalité*, de la même manière que la communauté des angles transforme la similitude des triangles en rapports d'égalité.

Parmi les analogies observées dans les diverses

branches des sciences, les plus complètes et les mieux déterminées sont celles qui existent entre les phénomènes physiques et mécaniques. On en connaît aujourd'hui un grand nombre; à tout phénomène physique, on s'efforce de faire correspondre un phénomène mécanique analogue par les particularités considérées et qui l'illustre en quelque manière. Des éléments, de signification concrète différente dans deux phénomènes distincts, jouent souvent des rôles semblables et cette ressemblance des rôles conduit à une ressemblance des équations régissant les allures des phénomènes. Les *analogies quantitatives* ou *mathématiques* qui en résultent, consistant en ce fait que les équations différentielles ou en termes finis sont de même forme et en même nombre pour tous les phénomènes du groupe, sont souvent si complètes, que tout résultat obtenu dans l'étude d'un de ces phénomènes peut être immédiatement transporté, avec sa traduction spéciale, dans l'autre. La Nature, diraient les anciens philosophes, semble construire ses œuvres d'après des plans primitifs semblables, cachés sous des apparences diverses qui les masquent; des phénomènes d'ordre différent peuvent conduire aux mêmes équations, disent simplement les analystes.

La communauté des particularités moins précises, comme le sont diverses particularités qualitatives de mécanisme et d'allure (ressemblance des rôles dont la nature présenterait des particularités qualitatives communes; ressemblance des manières dont les particularités d'allure résultent de la composition du mécanisme; ressemblance des particularités qualitatives d'allure) en-

INTRODUCTION

genre des *analogies qualitatives* entre les phénomènes disparates. Ces analogies se rencontrent à chaque instant, dans des phénomènes de toute espèce, jusque dans des phénomènes vulgaires de la vie quotidienne. Ce sont surtout de telles analogies qui donnent lieu à ces métaphores, assimilations et comparaisons citées tout-à-l'heure et employées si couramment dans les sciences, dans la poésie et jusque dans le langage courant.

Il y aurait un livre intéressant à écrire sur les services que les considérations d'analogies ont déjà rendus à la science. On connaît les services immenses que les analogies mathématiques ont rendus aux différentes branches de la physique mathématique, ayant permis maintes fois de transporter une théorie achevée d'une classe déterminée de phénomènes dans le domaine de phénomènes d'une toute autre nature, servant ainsi de guide aux investigations et suggérant même des découvertes. Les analogies qualitatives ont souvent conduit, pour leur part, à conclure avec une probabilité plus ou moins grande, de particularités communes reconnues à un groupe d'analogie, à l'existence d'autres particularités communes aux phénomènes du groupe qui, sans l'analogie comme guide, auraient pu rester inaperçues et insoupçonnées.

Qu'elles soient quantitatives ou seulement qualitatives, l'immense intérêt des analogies pour la philosophie naturelle réside dans le fait qu'elles font ressortir, par leurs noyaux, les procédés communs suivant lesquels se passent les phénomènes naturels, la manière d'être commune à une foule de phénomènes disparates. D'ailleurs, au fur et à mesure qu'une analogie qualitative, au cours de la connais-

sance de plus en plus profonde des particularités des phénomènes formant un groupe correspondant d'analogie, deviendra plus complète et plus précise, elle tendra à s'approcher de plus en plus d'une analogie quantitative et finira, dans un grand nombre de cas, par le devenir lorsque nos connaissances du phénomène seront suffisamment exactes et approfondies. Les analogies qualitatives marquent ainsi une *phase pré-mathématique* de la marche des connaissances humaines dans le monde des phénomènes, tout en y fournissant, à les considérer seulement en elles-mêmes, des contributions intéressantes. Un des grands problèmes de l'investigation de la nature réside précisément dans la réduction de l'image infiniment compliquée, représentant le monde des phénomènes, au croquis le plus uniforme possible qui en serait la base et qui, complété par l'infinie diversité de particularités spécifiques extérieures, caractérisant la diversité des phénomènes mêmes, reconstruirait l'image primitive complexe. Il est manifeste que chaque fois qu'on ramène une multitude de phénomènes à un même type de mécanisme, on fait un pas vers la solution du grand problème.

* * *

On peut maintenant apercevoir le vrai sens de l'aphorisme de Sir W. Thomson.

Un phénomène concret étant donné, schématisons son mécanisme, c'est-à-dire affranchissons-le de toutes les apparences extérieures indifférentes à la manière dont il intervient dans l'existence du phénomène, en le réduisant à ce qui est strictement nécessaire pour que ses par-

INTRODUCTION

ticularités d'allure apparaissent comme conséquences infaillibles du mécanisme ainsi schématisé. On verra alors apparaître un type de *mécanisme* embrassant, non seulement le mécanisme spécifique du phénomène dont il est dégagé, mais encore ceux d'une foule de phénomènes disparates de toutes natures concrètes, formant ainsi un *groupe d'analogie*. Or, dans un tel groupe, il doit toujours se trouver des phénomènes mécaniques, au sens littéral du mot ; chacun de ceux-ci fournira alors un « modèle mécanique » illustrant mécaniquement chacun des phénomènes du groupe, et par conséquent aussi le phénomène primitif envisagé. Comprendre un phénomène, c'est saisir le type de son mécanisme au sens de ce qui précède ; la connaissance du type fournira la possibilité d'en imaginer, si l'on veut, des modèles mécaniques.

Il est bien remarquable que la connaissance du type de mécanisme n'implique nullement la nécessité d'aller tout de suite jusqu'au fond des choses, de pousser l'investigation à outrance. Cette connaissance n'exige que celle de la nature schématisée des rôles, de la manière dont ceux-ci se trouvent combinés dans le mécanisme du phénomène étudié et de la manière dont les particularités du phénomène, également schématisées, découlent d'un tel assemblage de rôles. Il n'est point indispensable de se demander, du moins pour la connaissance seule du type de mécanisme en question et des conséquences générales qui en découlent, quelle est la vraie nature concrète du porteur de tel ou tel rôle, comment et pourquoi il se trouve affecté du rôle qui le caractérise. On ne connaît pas la nature intime de l'électricité ; cela

n'empêche point de bien connaître le type du mécanisme de la décharge des condensateurs, de la propagation de l'électricité, des phénomènes d'induction les plus complexes, etc. On ignore la nature concrète des diastases (et même leur définition précise); on connaît pourtant leurs effets et les combinaisons de ces effets qui sont précisément l'expression de l'activité vitale, et l'on arrive à expliquer un grand nombre de phénomènes vitaux par des combinaisons de ces activités de nature intime inconnue. Dans le mécanisme de la production des actes volontaires, les rôles des causes impulsives sont joués par des tendances motrices impulsives rattachées à certains états de conscience. Pour connaître la manière d'intervenir de ces rôles dans le phénomène psychologique, il n'est nullement indispensable de savoir pourquoi, comment, par quel processus intime une telle tendance motrice se trouve rattachée à tel ou tel état de conscience. Il suffit de savoir qu'une telle tendance existe effectivement, qu'elle joue un rôle de cause impulsive, entraînant tels ou tels faits, que son intensité varie de telle ou telle manière avec les circonstances au milieu desquelles elle a à agir, que dans le mécanisme en question, elle se trouve combinée avec d'autres tendances impulsives et dépressives également connues et avec d'autres rôles d'espèce différente (rôle de terrain, rôle coordinatif, rôles de causes instantanées, secondaires, perturbatrices) dont le processus intime qui leur donne naissance ou qui leur attribue un tel rôle n'est pas non plus indispensable à connaître. Il en est de même en géométrie, où, pour connaître les relations entre les longueurs et les angles, impliquées dans un ensemble de

INTRODUCTION

données, on ne discute point sur leur mode de provenance ni sur la nature concrète de leurs porteurs.

* * *

De tout ce qui précède se dégage un certain nombre de questions qu'on peut résumer de la manière suivante :

Serait-il possible d'affranchir toute rôle de ce qui le rattache spécialement à telle ou telle espèce de phénomènes concrets et de le présenter, comme type de rôle, sous une forme à la fois assez simple et assez générale pour qu'il puisse s'adapter à tous les phénomènes disparates appartenant à un groupe d'analogie déterminé?

Les rôles ainsi schématisés, peut-on schématiser aussi les phénomènes eux-mêmes embrassés par divers groupes d'analogies, en les réduisant à une sorte de squelette commun qui correspondrait tantôt à l'un, tantôt à un autre phénomène du groupe considéré suivant les significations concrètes spécifiques que l'on donnera aux éléments du schéma?

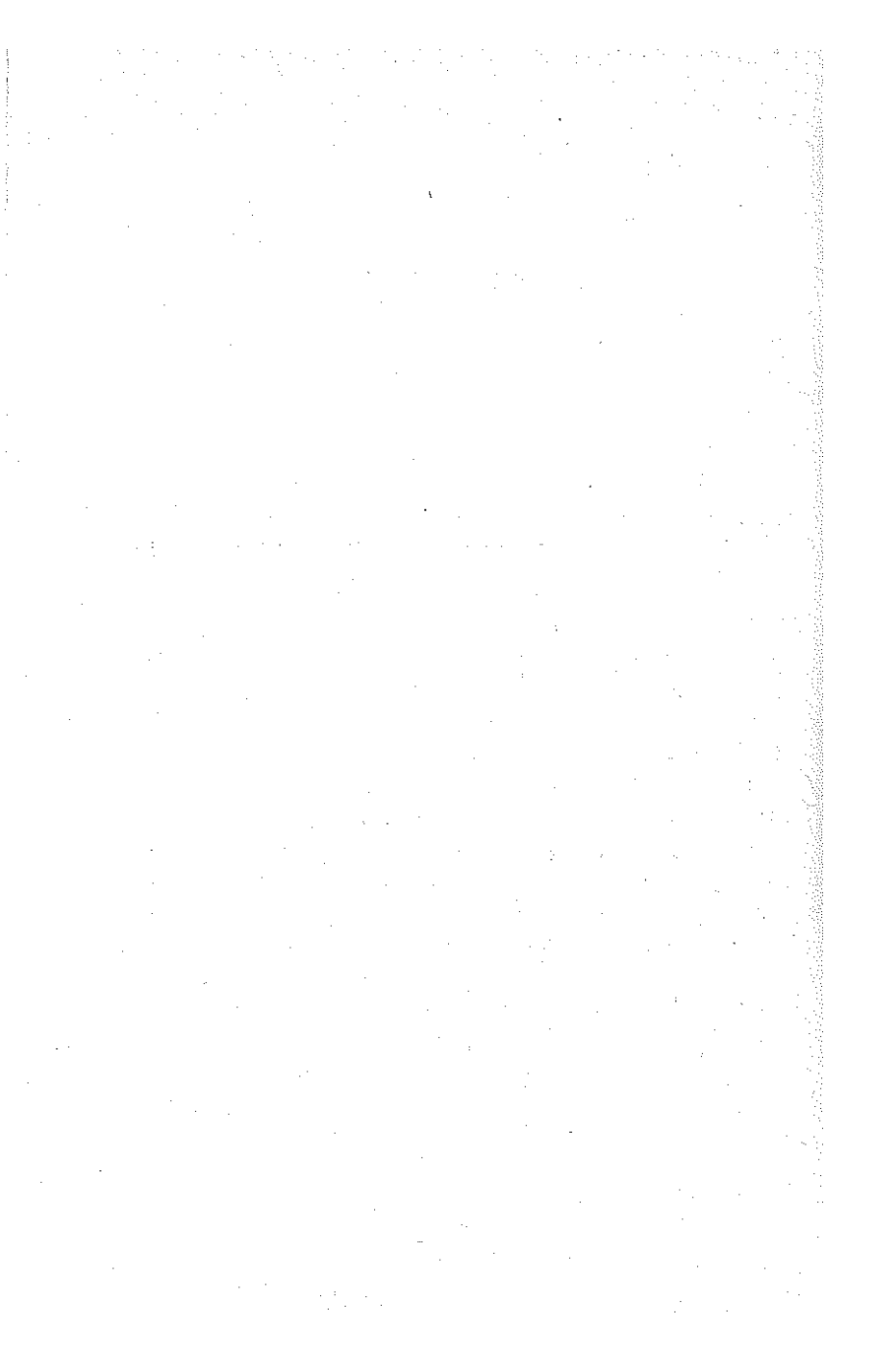
Des pareilles questions ont été traitées dans deux ouvrages antérieurs (1), de l'auteur. Les esquisses que nous présentons au cours du présent ouvrage, affranchi de l'appareil mathématique que comporterait leur développement plus complet, contribueront, nous l'espérons, à montrer que le problème a un sens et qu'il ne serait pas dénué d'intérêt. Sa solution, suffisamment développée, fournirait déjà une sorte de mécanique géné-

(1) *Mécanique des phénomènes fondée sur les analogies*. (Col. Scientia N° 27, Gauthier-Villars, Paris.

Eléments de Phénoménologie mathématique (en serbe, publié par l'Académie Royale de Serbie, Belgrade, 1911 ; 774 pages).

rale des phénomènes, une *phénoménologie générale*, qui aurait, tout d'abord, l'avantage de relier entre elles et de ramener à une même base, un grand nombre d'explications et de théories ne paraissant avoir actuellement aucun rapport. Elle donnerait la clé des analogies aujourd'hui connues et en ferait découvrir une foule d'autres. Les analogies d'autre part, contribueraient puissamment à son édification en lui offrant des problèmes d'un intérêt réel, en même temps que des applications concrètes.

Existe-t-il des chances pour qu'une telle *phénoménologie*, quand elle sera édifiée, conduite à quelque chose de nouveau ? Permettra-t-elle de prévoir des faits, de suggérer l'explication de faits inexplicables, de conduire à des expériences, à de nouvelles recherches ? Les exemples, cités au cours de cet ouvrage, se chargeront de répondre à ces questions et mettront en évidence le genre de service qu'on peut attendre d'une telle branche de la philosophie naturelle. Il est à pressentir que son origine consistera en un groupement systématique des phénomènes suivant leurs analogies, d'abord qualitatives et ensuite quantitatives, dans l'étude des types de mécanismes communs mis en évidence par les noyaux d'analogie, dans les schémas généraux tirés de chaque groupe d'analogie, et dans les généralisations suggérées par ces groupements.



CHAPITRE PREMIER

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURE DES PHÉNOMÈNES

I. — DESCRIPTION SCHÉMATIQUE DES ALLURES

Éléments descriptifs. — Système descriptif. — Configuration du système. — Le phénomène consiste dans les modifications de la configuration du système descriptif au cours du temps.

Tout ce qui se passe au cours du temps, tout *phénomène*, quelle qu'en soit la nature, l'espèce ou la complexité, apparaît comme une suite continue ou discontinue d'états momentanés, différents entre eux ou égaux se succédant au cours du temps.

L'image représentative d'un phénomène dans notre conscience consiste en une déformation graduelle ou brusque d'une image initiale déterminée, en une suite continue ou discontinue d'images instantanées qui se suivent au cours du phénomène. Il y a dans tout phénomène quelque chose qui *change* au cours du temps et dont le mode de changement caractérise le phénomène considéré : ce sont ces changements qui donnent lieu à la déformation de l'image représentative du phénomène.

Ce *quelque chose* qui change au cours des modifications déterminant un phénomène, peut se ramener à un ensemble d'éléments caractéristiques, en nombre limité ou illimité, *éléments descriptifs* du phénomène. Un tel ensemble, choisi de telle manière que ses modifica-

tions en donnent une idée suffisamment précise constitue son *système descriptif*. Ce système étant choisi, décrire le phénomène se réduit à décrire l'ensemble des changements individuels de chaque élément composant le système et à construire l'image résultant de l'ensemble de ces descriptions. Cette image sera d'autant plus complète, plus précise que les éléments choisis caractériseront mieux le phénomène au point de vue auquel on se place, et que les états successifs par lesquels passent ces éléments y seront plus exactement marqués.

Les états momentanés successifs que traverse un élément descriptif au cours du phénomène, peuvent être conçus et représentés par la suite des valeurs que prend, au cours du temps, un paramètre rattaché à cet élément et dont la valeur à chaque instant, en vertu de la correspondance entre l'élément et le paramètre, définit l'état de l'élément à cet instant.

L'ensemble des valeurs des paramètres, définissant l'état du système descriptif à un instant considéré, représente la *configuration* du système à cet instant. Il existe alors une correspondance uniforme entre un état momentané, pris au hasard, parmi ceux dans la succession desquels consiste le phénomène, et la configuration du système descriptif au même instant.

Le phénomène se ramène alors aux modifications de la configuration de son système descriptif au cours du temps.

Tel est le noyau descriptif commun à toutes sortes de phénomènes ; tel est le type le plus général auquel on peut réduire tout fait consistant en changements au cours du temps.

II. — ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS

Choix des éléments descriptifs. — L'arbitraire de ce choix.

Le choix des éléments descriptifs d'un phénomène considéré est arbitraire. Pour un même phénomène, il différera selon l'objectif que l'on s'est proposé dans la description, selon la précision de l'observation, la pénétration et la subtilité du discernement dans l'examen du phénomène. Ce sont surtout ces premières considérations qui sont prépondérantes dans le choix des éléments, lorsque leur nombre, composant l'image complète du phénomène, est très grand et lorsqu'il est, cependant, possible d'en former une image plus ou moins ressemblante en n'y faisant intervenir qu'un nombre restreint d'éléments propres à mettre en évidence, par leurs modes de changement, ce qu'on a particulièrement en vue dans le phénomène.

Dans les phénomènes de mouvement, les éléments descriptifs seraient les éléments géométriques définissant les positions des points ou des corps et leur orientation (longueurs, angles), ou bien les éléments cinétiques définissant les vitesses de translation ou de rotation, ou les accélérations. Dans les phénomènes de déformations géométriques, ce seraient les éléments définissant la forme des corps. Dans les phénomènes thermiques, la température, la quantité de chaleur, divers coefficients thermiques ; dans les phénomènes optiques, l'intensité lumineuse ou celle d'une couleur ; dans les phénomènes électriques, l'intensité du courant, la quantité de l'électricité, divers coefficients électriques ; dans les phénomènes acoustiques, l'intensité du son et sa hauteur ; dans les phénomènes chimiques, la vitesse de réaction, les quantités de produits de réaction, le degré de

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

telle ou telle propriété chimique (acidité, basicité, etc.) ; dans toutes sortes de phénomènes divers, les attributs désignés comme propriétés, aspects, qualités, traits caractéristiques, etc., et la plupart du temps celui parmi eux qui est le plus frappant. On décrit les variations d'un climat par celles de la pression barométrique, de la température, de l'état hygrométrique de l'atmosphère, par la force et la rapidité du vent, etc., Le cours d'un grand nombre de maladies peut se décrire en enregistrant les variations que subissent l'état thermique de l'organisme, la fréquence de la respiration ou du pouls. Pour la description des variations de l'état économique d'un peuple, on utilise comme éléments un grand nombre de facteurs, comme l'intensité de son commerce, le montant de ses impôts indirects, les recettes de ses chemins de fer, les dépôts à ses caisses d'épargne, le produit de ses postes et télégraphes, etc.,

A côté de ces éléments descriptifs, souvent vulgaires et intuitifs, qui apparaissent, dès le premier coup d'œil, à l'observation la plus superficielle, il peut y en avoir d'autres qui n'apparaissent qu'à la suite d'un discernement plus subtil, d'une connaissance plus profonde des particularités du phénomène, capable de les démasquer sous les apparences extérieures qui les voilent, ou d'y discerner le lien avec ce qu'on a en vue dans le phénomène. Tel est le cas de la longueur d'onde comme élément descriptif des phénomènes optiques ; de la fréquence des vibrations comme élément descriptif des phénomènes acoustiques. Tel est aussi le cas d'un grand nombre de coefficients conventionnels de toute espèce, dont les variations, au cours du phénomène auquel ils se rattachent, fournissent l'image de celui-ci sans qu'ils puissent, cependant, dans un grand nombre de cas, être mis en évidence autrement que par une analyse plus approfondie.

Souvent, il peut y avoir avantage, ou même nécessité, pour décrire plus précisément un phénomène, à décomposer un élément descriptif en plusieurs autres, dont l'ensemble d'états en un instant considéré constitue l'état de l'élément primitif en cet instant (couleur décomposée en couleurs simples dont chacune peut changer individuellement ; son décomposé en ses harmoniques ; odeur complexe analysée en ses composants).

Par contre, il arrive souvent qu'il y ait avantage à concevoir un ensemble composé d'un grand nombre d'éléments inconnus comme formant un seul élément fictif, dont le changement illustre ce qu'il y a de caractéristique dans le phénomène considéré au point de vue auquel on se place. C'est le cas de l'élément collectif fictif par lequel on convient de représenter le cours d'un processus quelconque : le cours d'une réaction chimique, le cours d'une maladie, le développement d'un organisme, le progrès d'une entreprise, etc... sans avoir besoin, ou même possibilité, de décomposer en ses composantes la complexité en question. Tel est aussi le cas de l'élément fictif appelé indice totalisateur d'un phénomène complexe et dans lequel on réunit souvent un très grand nombre d'éléments composants concrets, par exemple, l'indice totalisateur par lequel on résume l'état économique d'un peuple, ou bien celui par lequel on résume le climat d'un pays. Comme on l'a souvent dit, au point de vue politique, un million d'hommes est chose moins compliquée qu'un seul individu ; une quantité de phénomènes sociaux sont susceptibles d'être décrits par un nombre restreint d'éléments collectifs. Cette facilité cesse si la masse sociale se scinde en partis et en individualités faisant perdre aux éléments descriptifs leur caractère de collectivité.

III. — ALLURE D'UN ÉLÉMENT

Représentation graphique des allures. — Description quantitative et description qualitative des allures. — La description qualitative est possible pour les éléments de toutes sortes et de toutes natures concrètes.

Le changement du paramètre, rattaché à l'élément considéré, se laisse représenter graphiquement par son diagramme à deux axes orthogonaux, dont l'un est celui du temps et l'autre celui des valeurs correspondantes du paramètre. La courbe, régulière ou saccadée, ainsi obtenue, illustre l'allure de l'élément. La partie de la courbe correspondant à un intervalle considéré du temps illustrera la phase de l'allure correspondant à cet intervalle.

Une phase d'allure peut être décrite *quantitativement* si, les unités de mesure étant fixées, la partie correspondante de la courbe du diagramme est tracée avec une précision assez grande pour que la grandeur et le sens de l'ordonnée de chaque point puissent représenter, avec la précision voulue, la grandeur et le sens du paramètre à l'instant correspondant

La phase n'est décrite que *qualitativement* si le diagramme ne marque que quelques-unes des particularités qualitatives de la courbe, comme, par exemple : l'invariabilité, le signe dans un intervalle plus ou moins étendu du temps, le sens du changement, l'existence des régimes asymptotiques ; l'existence des maxima ou des minima ; la vitesse de croissance ou de décroissance ; le caractère oscillant, rythmique ; la périodicité ou l'apériodicité ; la continuité ou la discontinuité, les ruptures, les intermitances, les sauts brusques, l'allure saccadée, changements de signe, l'évanouissement, etc.,

La *description quantitative* n'est possible que dans le cas d'éléments pratiquement mesurables, de manière que les valeurs du paramètre qui s'y rattache se laissent exprimer en unités de mesure convenues par des nombres et avec la précision voulue. Tel est le cas des éléments pratiquement, directement ou indirectement mesurables dans les phénomènes mécaniques, physiques, chimiques, physiologiques, psychologiques, statistiques, etc.,

La *description qualitative* est, au contraire, possible pour toutes sortes d'éléments. Toute conception, toute idée, tout sentiment offre quelque chose de mesurable, du moins au sens mathématique du mot, c'est-à-dire quelque chose qu'on peut concevoir comme plus grand ou plus petit, plus fort ou plus faible et au moyen de quoi les divers états instantanés de l'élément peuvent être comparés entre eux. L'intensité d'une propriété chimique quelconque, l'acuité et la gravité d'une maladie, l'intensité d'une excitation, d'un sentiment, d'un plaisir, d'une douleur, de l'attention portée à un fait, le degré de sensibilité, la grandeur d'un effort physique ou psychique, l'état d'une civilisation, la vitesse de progression ou de rétrogradation dans un processus d'une nature quelconque, dans une évolution, l'allure brusque ou modérée d'un événement, l'importance d'un fait, la grandeur d'un mérite, le degré d'atrocité d'un crime, etc., sont autant d'éléments inaccessibles à des évaluations numériques précises, mais pour lesquels il est cependant toujours possible de concevoir toutes les particularités qualitatives de variation que présentent les éléments pratiquement mesurables : la croissance et la décroissance, l'évanouissement, le caractère continu ou discontinu, graduel ou saccadé, oscillant ou périodique, les maxima et les minima, etc.,

On sait, par exemple, que la sensation *augmente plus*

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

lentement que l'excitation qui la provoque ; qu'un éclairage double, triple, quadruple sera senti comme *moindre* que le double, le triple, le quadruple. — Les phénomènes rythmiques de toute nature concrète consistent en *oscillations périodiques* ou *apériodiques* d'un élément ou d'un complexus d'éléments autour d'un état déterminé, ou bien dans les rapprochements et les éloignements alternés par rapport à un état déterminé. De tels éléments peuvent cependant n'être pas pratiquement mesurables, mais on peut les concevoir et mettre en évidence leur caractère rythmique. Un grand nombre de phénomènes rythmiques, biologiques ou historiques à longue durée, l'évolution progressive des diverses institutions sociales au cours de longues périodes de temps, en fournissent des exemples concrets. Les variations des caractères, aboutissant à de nouvelles variétés, à de nouvelles espèces d'organismes, peuvent être *lentes* et *continues* (les fluctuations, s'effectuant par degrés insensibles), ou bien *discontinues*, *Brusques* (les mutations, s'effectuant par sauts brusques). — On peut concevoir l'existence de minima et de maxima pour toutes sortes d'éléments ; les expressions courantes le rappellent ; on parle, par exemple de la *culmination* d'une maladie, de l'*apogée* d'une carrière, d'un pouvoir ou d'une richesse, de mesures législatives donnant le *maximum* de résultats avec le *minimum* de froissements. — Des expressions telles que : *redoubler* d'attention, d'effort, d'intérêt, de zèle ; *accélérer* la marche d'un événement, *annuler* sa volonté d'agir, *renforcer* une raison, *augmenter* ou *diminuer* la différence entre telle ou telle chose, glisser *rapidement* sur la pente du malheur, le fait qu'un châtement est *proportionné* ou *disproportionné* à la grandeur de la faute commise, qu'un mérite *croît en raison directe* des difficultés et de l'importance du devoir, que les enthous-

Siasmes passent *plus vite* que les haines, qu'un peuple dans telles ou telles circonstances, *oscille* entre l'enthousiasme et la dépression, etc., dénotent la possibilité d'une appréciation relative des grandeurs des éléments de toutes sortes et de toutes natures, inaccessibles à des mesures proprement dites.

Il en est de même pour de nombreuses comparaisons et métaphores dans lesquelles, ayant en vue une description qualitative, on assimile l'élément considéré à un autre, concret ou fictif, dont les variations sont plus faciles à saisir, à suivre et à comparer, ou bien parce qu'elles évoquent une image plus vive des particularités qualitatives qu'on veut faire ressortir.

IV. — ALLURE DU PHÉNOMÈNE

Elle est représentée par l'image collective résultant de la simultanéité des allures individuelles des éléments. — Allure schématisée du phénomène.

La description, quantitative ou qualitative, du phénomène se ferait donc en énumérant l'ensemble des changements individuels de chacun de ses éléments descriptifs, selon la manière indiquée tout à l'heure et en construisant l'image collective résultant de ces changements individuels.

S'il n'y a qu'un seul élément, ou du moins si l'attention ne doit porter que sur un seul élément caractérisant ce qu'on a particulièrement en vue dans le phénomène, la description de celui-ci sera réduite à celle des changements de l'élément lui-même. — Si, par exemple, les armatures d'un condensateur électrique se relient entre elles par un fil conducteur, le condensateur commencera à se décharger. Le fil devient le siège du courant de

décharge dont l'intensité change d'un instant à l'autre au cours de la décharge : nulle au début, elle se met à croître jusqu'à un maximum positif, après lequel elle se met à décroître, passe par zéro, change de sens, atteint un minimum négatif, recommence à croître, etc. Le phénomène, en prenant l'intensité du courant comme élément descriptif, consistera alors en une série d'oscillations autour d'un état neutre, lesquelles s'amortiront rapidement et finiront par devenir insensibles au bout d'un court intervalle de temps. — Si, au cours du développement d'une maladie, les variations de la température du corps sont à considérer comme symptôme essentiel du progrès de la maladie, la courbe indiquant ces variations fournira l'image de ce progrès.

S'il y a plusieurs éléments, il arrive que le concours de leurs changements individuels simultanés fera ressortir, dans l'image collective en résultant, des particularités quantitatives ou qualitatives n'apparaissant que lorsqu'on considère les changements des éléments *simultanément* comme résultat de combinaison des changements individuels des éléments. Ainsi la particularité géométrique d'un mouvement : la trajectoire d'un point mobile isolé ou faisant partie d'un corps n'apparaît que dans la combinaison des changements simultanés des coordonnées. Pour s'apercevoir que dans un mouvement lié, un point reste constamment sur une surface ou sur une courbe déterminée, il est indispensable de considérer simultanément les changements des coordonnées du point. L'image d'un phénomène consistant en une déformation géométrique au cours du temps (par exemple dans l'aplatissement progressif et continu d'un ellipsoïde) n'apparaîtra que comme combinaison de changements de certains éléments géométriques. La combinaison des changements simultanés de cinq éléments caractéris-

tiques du mouvement d'une toupie sur un plan horizontal, dont deux sont les coordonnées du sommet et les trois autres des angles, se reflète dans l'image collective du mouvement complexe de la toupie. L'image d'un nombre immense des mouvements des corps solides ou des fluides présente la même particularité (par exemple les mouvements ondulatoires à la surface des liquides). La combinaison des vibrations simultanées de deux diapasons croisés se traduit par des couleurs optiques de Lissajoux. De telles combinaisons peuvent se traduire par des couleurs résultantes (par exemple les couleurs des lames minces), par des phénomènes d'interférence de toutes sortes, par des figures optiques dans le kaleïdophone. La combinaison de symptômes simultanés, fournis par les variations individuelles de plusieurs éléments caractéristiques, engendre l'image collective de l'état d'une maladie, d'un climat, d'un état économique, etc. Pour s'apercevoir que le point figuratif des déformations élastiques d'un gaz parfait, en faisant intervenir les éléments descriptifs volume et pression, reste constamment sur une hyperbole équilatère (loi de Mariotte), il faut considérer simultanément les variations de ces deux éléments.

Dans un semblable mode de description, le phénomène se trouve *schématisé*, transformé en une image fictive dans laquelle des éléments descriptifs concrets ne restent que leurs représentants quantitatifs : les paramètres qui leur sont rattachés illustrent par le mode de leurs variations les changements réels des éléments et dans lesquels la nature concrète spécifique de l'élément a complètement disparu. C'est une sorte de croquis où les couleurs et les ombres de l'image primitive ont disparu et où seuls sont restés les contours et les traits principaux, mais cependant encore assez expressifs pour

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

que la reconstruction de l'image primitive soit possible. Pour que cette reconstruction puisse s'opérer, pour qu'on puisse reconstituer l'image complète avec toutes ses particularités spécifiques, il faut se rappeler le lien, naturel ou conventionnel, existant entre la nature concrète des éléments et les paramètres qui les illustrent dans le croquis. Aidé par ce lien, rendant à chaque élément ce qui lui a été enlevé par une telle schématisation, on revient à l'élément descriptif primitif : l'ensemble de ces éléments complété par les accessoires ôtés au cours de la schématisation, fournira, par leurs changements, l'image vraie et complète du phénomène, tel qu'il correspond à la réalité.

V. — PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

Ressemblance d'allures. — Ressemblance quantitative et ressemblance qualitative d'allures.

Il arrive qu'un groupe de phénomènes manifeste une *ressemblance d'allure* apparaissant, soit dans les particularités du mode de changement d'un certain nombre de leurs éléments descriptifs respectifs, soit dans l'image collective résultant de l'ensemble de ces changements. La ressemblance est plus ou moins grande suivant le nombre et la nature des particularités que les phénomènes du groupe présentent en commun et l'on peut ainsi remonter toutes les gradations, depuis l'égalité complète jusqu'à la ressemblance la plus vague des allures.

L'égalité complète aura lieu lorsqu'existera l'égalité numérique des ordonnées correspondantes dans les diagrammes respectifs des allures aux phases considérées, c'est-à-dire lorsque les parties correspondantes des

courbes d'allures se superposeront exactement. Tel est le cas du groupe de phénomènes embrassant le mouvement descendant ou ascendant d'un corps pesant tombant dans le vide (l'élément descriptif étant la vitesse du corps) et les modifications électriques produites par une force électromotrice constante dans un circuit de résistance négligeable (l'élément descriptif étant l'intensité du courant); les allures se trouvent représentées par des droites qui coïncident entre elles, lorsque les conditions initiales et les coefficients physiques numériques respectifs sont convenablement choisis. En prenant pour éléments descriptifs la cote du corps pesant et la quantité de l'électricité débitée dans le circuit, les courbes seraient deux paraboles qui coïncideraient également dans les conditions indiquées. Tel serait aussi le cas du groupe de phénomènes exponentiels, consistant en changements d'un élément, suivant une loi simple représentée par la courbe exponentielle croissante ou décroissante, la même pour les phénomènes du groupe lorsque les conditions initiales et les coefficients spécifiques sont convenablement choisis. C'est aussi le cas du vaste groupe de phénomènes oscillatoires amortis, consistant en variations d'un élément caractéristique suivant une loi représentée par une courbe sinusoïdale à amplitudes progressivement amorties, la même pour tous les phénomènes du groupe dans les conditions pareilles aux précédentes.

L'analogie mathématique d'allure aura lieu lorsque les courbes des diagrammes respectifs seront d'une même espèce analytique, ne différant que par les valeurs numériques des coefficients spécifiques qui seuls peuvent varier d'une courbe à une autre. C'est le cas des trois exemples de tout à l'heure, lorsque les conditions initiales et les coefficients physiques des phénomènes

sont arbitraires. Dans le premier exemple, les courbes d'allure sont des droites ou des paraboles ; dans le second, ce sont des courbes exponentielles et dans le troisième ce sont des sinusoïdes amorties. Les changements des conditions initiales et des coefficients physiques auraient pour seul effet de déformer ces courbes sans en altérer l'espèce.

La *ressemblance qualitative* d'allure est caractérisée par le fait que les courbes d'allure des phénomènes du groupe présentent, dans les phases considérées, des particularités qualitatives communes. Elle est d'autant plus grande que le nombre de ces particularités est plus considérable et leur nature mieux déterminée. Elle est, par exemple, très grande pour le groupe de phénomènes périodiques, ou pour celui de phénomènes rythmiques à oscillations progressivement amorties. Elle est également très appréciable pour le groupe embrassant le phénomène d'aimantation graduelle d'une barre de fer jusqu'à la saturation, et celui d'accumulation progressive du produit d'une réaction chimique monomoléculaire au cours de la réaction même : chacun des éléments descriptifs respectifs des deux phénomènes (intensité d'aimantation dans le premier, quantité du produit chimique dans le second) part de la valeur zéro, commence à croître d'abord assez vite, et puis de plus en plus lentement, en tendant progressivement vers un état final invariable, dans lequel le régime permanent du phénomène se trouve désormais établi. C'est aussi le cas de l'allure des perturbations magnétiques terrestres et de celle de l'activité solaire manifestée par les taches ou par les protubérances, à la condition de considérer les deux phénomènes pendant le même laps de temps ; les deux courbes respectives laissent discerner, à travers les nombreuses irrégularités dont elles sont affectées, plu-

sieurs particularités qualitatives, significatives, communes : ce sont, par exemple, des croissances et des décroissances simultanées, le passage simultanément par les maxima et minima, les variations, dans un même sens, des grandeurs [mêmes de ces maxima et minima. La concordance plus ou moins complète des particularités constatées sur les deux courbes d'allure, celle de la température du printemps à Paris et celle de l'étendue des taches solaires, mesurées avec précision par la photographie et exprimées en millièmes de l'hémisphère solaire visible, fournit également un exemple de cette espèce. Un grand nombre de courbes statistiques dénotent aussi une plus ou moins grande concordance entre les particularités qualitatives d'allures des phénomènes comparés auxquelles elles se rattachent. Ainsi les courbes de l'étendue des taches solaires et de l'abondance des récoltes de l'agriculture, mettent souvent en évidence la périodicité concordante des deux phénomènes correspondants.

La ressemblance qualitative est, par contre, vague entre les allures d'un groupe de phénomènes ne présentant en commun que des sauts brusques, des chocs, des intermittences ou d'autres discontinuités semblables. On peut la poursuivre jusque dans les phénomènes de la vie ordinaire où elle trouve son expression dans des nombreuses métaphores, dans l'assimilation d'un phénomène à un autre au cours duquel la particularité envisagée apparaît plus clairement. Telles sont les assimilations de nombreux phénomènes au *mouvement pendulaire*, ou au *flux et reflux* de la marée, ou au *torrent*, à l'*orage*, au *choc*, à l'*explosion*, à la *décharge*. On assimile tel ou tel phénomène à la propagation d'une *onde*, se transmettant progressivement en s'élargissant de proche en proche. On parle de la *symétrie* d'un raisonnement, d'une *explo-*

sont arbitraires. Dans le premier exemple, les courbes d'allure sont des droites ou des paraboles ; dans le second, ce sont des courbes exponentielles et dans le troisième ce sont des sinusoides amorties. Les changements des conditions initiales et des coefficients physiques auraient pour seul effet de déformer ces courbes sans en altérer l'espèce.

La *ressemblance qualitative* d'allure est caractérisée par le fait que les courbes d'allure des phénomènes du groupe présentent, dans les phases considérées, des particularités qualitatives communes. Elle est d'autant plus grande que le nombre de ces particularités est plus considérable et leur nature mieux déterminée. Elle est, par exemple, très grande pour le groupe de phénomènes périodiques, ou pour celui de phénomènes rythmiques à oscillations progressivement amorties. Elle est également très appréciable pour le groupe embrassant le phénomène d'aimantation graduelle d'une barre de fer jusqu'à la saturation, et celui d'accumulation progressive du produit d'une réaction chimique monomoléculaire au cours de la réaction même : chacun des éléments descriptifs respectifs des deux phénomènes (intensité d'aimantation dans le premier, quantité du produit chimique dans le second) part de la valeur zéro, commence à croître d'abord assez vite, et puis de plus en plus lentement, en tendant progressivement vers un état final invariable, dans lequel le régime permanent du phénomène se trouve désormais établi. C'est aussi le cas de l'allure des perturbations magnétiques terrestres et de celle de l'activité solaire manifestée par les taches ou par les protubérances, à la condition de considérer les deux phénomènes pendant le même laps de temps ; les deux courbes respectives laissent discerner, à travers les nombreuses irrégularités dont elles sont affectées, plu-

sieurs particularités qualitatives, significatives, communes : ce sont, par exemple, des croissances et des décroissances simultanées, le passage simultanément par les maxima et minima, les variations, dans un même sens, des grandeurs [mêmes de ces maxima et minima. La concordance plus ou moins complète des particularités constatées sur les deux courbes d'allure, celle de la température du printemps à Paris et celle de l'étendue des taches solaires, mesurées avec précision par la photographie et exprimées en millièmes de l'hémisphère solaire visible, fournit également un exemple de cette espèce. Un grand nombre de courbes statistiques dénotent aussi une plus ou moins grande concordance entre les particularités qualitatives d'allures des phénomènes disparates auxquelles elles se rattachent. Ainsi les courbes de l'étendue des taches solaires et de l'abondance des récoltes de l'agriculture, mettent souvent en évidence la périodicité concordante des deux phénomènes correspondants.

La ressemblance qualitative est, par contre, vague entre les allures d'un groupe de phénomènes ne présentant en commun que des sauts brusques, des chocs, des intermittences ou d'autres discontinuités semblables. On peut la poursuivre jusque dans les phénomènes de la vie ordinaire où elle trouve son expression dans des nombreuses métaphores, dans l'assimilation d'un phénomène à un autre au cours duquel la particularité envisagée apparaît plus clairement. Telles sont les assimilations de nombreux phénomènes au *mouvement pendulaire*, ou au *flux et reflux* de la marée, ou au *torrent*, à l'*orage*, au *choc*, à l'*explosion*, à la *décharge*. On assimile tel ou tel phénomène à la propagation d'une *onde*, se transmettant progressivement en s'élargissant de proche en proche. On parle de la *symétrie* d'un raisonnement, d'une *explo-*

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

sion ou d'une *bourrasque* de sentiments, du *point culminant* d'un phénomène social, de la *lenteur* ou de l'*accélération* des événements, de leurs *intermittences*, etc. La considération de l'image collective résultant des changements simultanés de plusieurs éléments conduit à attribuer une *orientation* ou une *direction* à des affaires humaines, à des mouvements sociaux ; à supposer un but vers lequel, comme vers le *point asymptotique*, des affaires pareilles ou des mouvements comparables *convergent*, à parler de l'attention *concentrée* etc. On cherche, dans de semblables assimilations, à mettre en relief telle ou telle particularité qualitative significative, commune aux phénomènes qu'on rapproche ainsi entre eux, sans la préciser explicitement.

VI. — DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES ALLURES

Point figuratif du phénomène. — La description du phénomène se ramène à celle du mode de mouvement de son point figuratif. — Trajectoire du point figuratif. — Éléments géométriques et éléments cinétiques de l'allure du phénomène. — La ressemblance d'allures consiste en ressemblance, soit des trajectoires, soit des modes de mouvement des points figuratifs le long de leurs trajectoires.

On peut donner à ce qui précède la forme mathématique suivante.

Une configuration à n paramètres définit, dans l'espace à n dimensions, un point M ayant pour coordonnées les grandeurs des paramètres correspondant à cette configuration. Le point M est le *point figuratif* du système descriptif du phénomène. Il se déplace au cours du phénomène, de telle sorte qu'à chaque instant sa position est déterminée sans ambiguïté par la configuration du système à cet instant, et que le mode de mouvement

de ce point dans son espace est l'image du mode de changement de la configuration, par suite aussi de l'allure du phénomène.

La description de l'allure du phénomène peut donc se ramener à celle du mode de mouvement du point figuratif du système descriptif du phénomène dans l'hyper-espace.

La suite des configurations par lesquelles passe le système au cours du phénomène forme la *trajectoire* du point figuratif pendant ce temps ; c'est la ligne que suit ce point au cours du phénomène dans son espace à n dimensions. Connaître un état momentané dans le phénomène à un instant voulu, c'est connaître la position qu'occupe le point figuratif sur sa trajectoire à cet instant ; inversement, chaque position de ce point sur la trajectoire définit un état momentané au cours du phénomène. A toute particularité, quantitative ou qualitative, de la trajectoire et du mode de mouvement du point figuratif sur celle-ci, correspond une particularité déterminée de l'allure du phénomène et réciproquement.

Dans le cas particulier des phénomènes à deux éléments descriptifs, la trajectoire est une courbe plane ; pour les phénomènes à trois éléments, c'est une courbe gauche.

Dans le mouvement d'un point, dans un plan, où les deux éléments descriptifs, quelle qu'en soit la nature, varieraient en raison directe du temps, la trajectoire du point figuratif serait une ligne droite.

Dans un phénomène électrique où les éléments descriptifs seraient les intensités de deux courants alternatifs de même période, la trajectoire serait une ellipse ou un cercle. Dans un système de trois courants, dont deux seraient alternatifs et de même période, et le troisième à intensité croissante ou décroissante en raison directe du temps, la trajectoire serait une hélice cylindrique à base elliptique ou circulaire.

Dans le cas d'une maladie dont on pourrait suivre le cours à l'aide de trois éléments descriptifs, par exemple au moyen de la température du corps, de la fréquence des respirations et du pouls, la trajectoire serait une courbe gauche irrégulière, mais qu'on pourrait construire point par point d'après les diagrammes empiriques de ces trois éléments. A ce même ordre d'idées se rattacheraient une foule de cas où l'on se représente, plus ou moins grossièrement, un phénomène par une courbe figurative. D'après la théorie de Vico, par exemple, les sociétés évolueraient selon des courbes fermées, en repassant par les mêmes états au cours des siècles. Goethe comparait la même évolution au mouvement d'un mobile qui suivrait une spirale gauche, combinant ainsi le mouvement circulaire de Vico avec un mouvement ascensionnel et voulant exprimer par là que les sociétés, au lieu de repasser à travers les âges par les mêmes états, passent périodiquement par des états semblables, chaque passage étant marqué d'un progrès, quoique il y ait ainsi recommencement.

La trajectoire est connue *géométriquement* lorsqu'on connaît les coordonnées d'un point quelconque en fonction d'un paramètre ; elle le sera à la fois *géométriquement* et *cinétiquement* si l'on prend pour ce paramètre le temps même.

La *vitesse de changement* d'un élément descriptif en un instant considéré est définie par la valeur et le signe de la dérivée première du paramètre rattaché à l'élément par rapport au temps. C'est le coefficient de direction de la tangente à la courbe du diagramme de l'élément au point correspondant à cet instant.

L'*intensité* du phénomène en un instant donné est définie par la vitesse du point figuratif sur sa trajectoire. Dans le système orthogonal, c'est en grandeur, direction

et signe, la diagonale du parallépipède rectangle à n dimensions, dont les côtés ont pour grandeurs les vitesses de changement de tous les éléments composant le système descriptif du phénomène. Dans le cas particulier où le système se réduit à un seul élément, l'intensité du phénomène est représentée par le coefficient de direction de la tangente à la courbe du diagramme de cet élément (vitesse de translation ou de rotation ; vitesse d'une réaction chimique ; vitesse de verdissement d'une plante ; vitesse de noircissement de la plaque photographique ; intensité d'un courant électrique ; vitesse du progrès d'une maladie, etc.)

L'accélération de changement d'un élément descriptif en un instant considéré est définie par la valeur et le signe, à cet instant, de la dérivée seconde du paramètre par rapport au temps.

Le renforcement dans le phénomène à un instant donné a pour mesure la vitesse de changement de l'intensité du phénomène à cet instant, c'est-à-dire l'accélération du point figuratif sur sa trajectoire ; c'est en même temps la diagonale du parallépipède rectangle à n dimensions et dont les côtés ont pour grandeurs les accélérations de changement de tous les éléments du système descriptif.

L'aire de la surface, sur le diagramme d'un élément descriptif, limitée par l'axe du temps, l'axe de la courbe du diagramme et deux ordonnées correspondant à deux instants donnés, représentent la *totalité* de l'élément dans l'intervalle du temps compris entre ces deux instants. C'est là un facteur jouant un rôle important dans les mécanismes d'une foule de phénomènes naturels, ainsi que l'on pourra s'en rendre compte au cours de ce qui suit. Dans les mouvements de translation, l'élément descriptif étant la vitesse de translation, la totalité de

PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES

L'élément sera la longueur du chemin parcouru ; dans les mouvements de rotation, l'élément étant la vitesse rotatoire, la totalité sera représentée par l'angle de rotation dans l'intervalle du temps considéré. Dans le mouvement du pendule, dans les vibrations d'une tige élastique, dans les vibrations de l'éther lumineux, l'élément étant la vitesse vibratoire, la totalité sera l'élongation dans les oscillations ou dans les vibrations. Ce même rôle est joué par la quantité d'électricité débitée, mesurée par la quantité de l'électrolyte décomposé, lorsque l'élément est l'intensité du courant ; ou bien par la quantité de lumière contenue dans un faisceau de rayons lumineux, lorsque l'élément est le flux lumineux ; ou bien par la quantité de chaleur, nécessaire pour augmenter la température d'un corps d'un nombre de degrés donné, lorsque l'élément est la chaleur spécifique du corps ; ou bien par la quantité de liquide débitée par un orifice, lorsque l'élément est la vitesse d'écoulement. Ce rôle est rempli par les quantités de produits au cours d'une réaction chimique lorsque les éléments sont les vitesses de réaction ; ou bien par la quantité d'un distilat lorsque l'élément est la vitesse de distillation et, d'une manière générale, par la quantité du résultat d'un processus, quelle qu'en soit la nature concrète, lorsque l'élément est la vitesse de celui-ci.

La trajectoire du point figuratif représente l'élément géométrique ; l'intensité du phénomène et son renforcement, les vitesses, les accélérations et les totalités des éléments descriptifs représentent les éléments cinétiques du mode de mouvement du point figuratif, et par suite aussi de l'allure même du phénomène.

De tout ceci, il résulte qu'un groupe de phénomènes présentera des particularités d'allure communes lorsque soit les formes des trajectoires de leurs points figuratifs

DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES ALLURES

respectifs, soit les modes de mouvement des points figuratifs sur leurs trajectoires, auront des caractères communs. Suivant que ces derniers seront de nature quantitative ou seulement qualitative, on aura des analogies mathématiques d'allure ou bien seulement des ressemblances qualitatives, plus complètes ou plus vagues suivant le nombre et la nature des caractères communs.

CHAPITRE II

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES DES PHÉNOMÈNES

I. — RÔLES

Le rôle et sa nature. — Ressemblance de rôles. — Ressemblance quantitative et qualificative des rôles.

Les particularités de mouvement du point figuratif, et l'image du phénomène auquel il se trouve rattaché, sont à considérer comme conséquents nécessaires du concours d'un ensemble déterminé (E) d'éléments, de facteurs et de faits dont la mise en jeu les amène infailliblement. Ce qui fait partie de E est à considérer comme *jouant un rôle* dans l'existence du phénomène. La *nature du rôle* consisterait dans la manière dont le porteur du rôle (élément, facteur ou fait, faisant partie de E) interviendrait dans l'existence du phénomène, c'est-à-dire dans le mode de lien unissant le porteur du rôle et les particularités du phénomène.

La nature du rôle joué par un aimant à l'approche d'une aiguille aimantée consisterait dans l'orientation de celle-ci d'une manière déterminée ; celle d'un acide au contact d'une base, à provoquer une réaction chimique transformant la base en sel ; celle de la chaleur à dilater les corps, ou bien à accélérer les réactions chimiques ; la nature du rôle d'une surface sur laquelle un point

matériel serait contraint à se mouvoir sans pouvoir la quitter, consisterait dans une limitation ou dans un réglage du mouvement du point, abstraction faite des forces par lesquelles le point se trouverait sollicité. La nature du rôle d'un mur impénétrable rencontré par un projectile consiste dans l'arrêt brusque du mouvement de celui-ci ; celle d'un écran opaque heurté par un faisceau lumineux dans l'arrêt de la propagation du faisceau ; celle d'une rupture du contact électrique consiste à couper le courant. La nature du rôle d'une étincelle au contact de l'explosif consiste, à déclencher l'explosion de celui-ci. Le rôle du régulateur centrifuge de la machine à vapeur consiste à rendre la vitesse du volant sensiblement constante, malgré les variations des forces motrices et des résistances à vaincre. La nature du rôle que joue l'état général d'un organisme attaqué par des bacilles consiste à favoriser ou à entraver l'envahissement des bacilles ; celle de la situation politique d'un pays consiste à faciliter ou à entraver tel ou tel événement, etc.

Plusieurs rôles sont semblables entre eux si, dans leurs natures respectives, se laisse discerner un ensemble de faits communs. La ressemblance est plus ou moins grande suivant le nombre de faits constituant le *noyau* commun des rôles considérés et suivant l'importance que ces faits présentent pour l'existence du phénomène. On rencontre ainsi toutes les gradations, depuis l'égalité complète jusqu'à la ressemblance la plus vague. Il y a, par exemple, égalité complète entre le rôle d'un pôle magnétique par rapport aux masses magnétiques et celui d'un corps céleste par rapport aux masses mécaniques, le noyau commun de ces rôles consistant en ce fait que la présence du pôle et du corps céleste imposent aux masses correspondantes des modifications de même

espèce et régies par les mêmes lois. La ressemblance est beaucoup moins complète entre le rôle d'un pôle magnétique par rapport à une masse aimantée et celui d'un acide par rapport à une base ; le noyau commun consiste dans le seul fait que la présence du pôle ou le contact de l'acide imposent des changements à ce qui est soumis à leur influence, mais ces changements ne présentent plus des particularités caractéristiques communes.

La ressemblance des rôles est *quantitative* ou *qualitative* suivant que les faits composant leur noyau commun sont de nature quantitative ou qualitative. Ainsi, elle est quantitative pour les rôles attribués à des forces attractives électriques, magnétiques et de gravitation, le noyau commun contenant ce fait que les changements imposés par ces rôles aux vitesses des masses électriques, magnétiques et mécaniques varient en raison inverse du carré de la distance de la masse à la source de la force. Elle est, par contre, qualitative pour le rôle de la vitesse de rotation variant sous l'action du couple moteur, et pour celui de l'intensité du courant d'un circuit variant sous l'action de la force électromotrice de la pile intercalée, le noyau n'embrassant que le fait que les éléments respectifs, vitesse et intensité, porteurs de ces deux rôles, sont également porteurs des changements imposés par les causes respectives dans les deux phénomènes.

II. — TYPES DE RÔLES

Type de rôle et leur désignation. — Rôle d'éléments descriptifs ; rôle de cause ; rôle de liaison ; rôle d'obstacle ; rôle de terrain. — Analyse du rôle de cause ; tendance modificatrice rattachée à la cause ; objet direct de la tendance ; l'inertie opposée à la tendance ; coefficient d'inertie ou l'inertie spécifique ; sens de la tendance ; lois permanentes rattachées au mode de variations de la cause ; formes spécifiques de telles lois ; coefficient d'activité de la cause ; action simultanée de plusieurs causes ; composantes d'une cause dans les directions respectives des éléments du système. — Rôle de cause directe. — Rôle de cause indirecte. — Rôle de cause impulsive. — Rôle de cause dépressive. — Rôle de cause à loi quantitative connue. — Rôle de cause à particularités qualitatives connues. — Rôle de cause résistante. — Rôle de cause réactive. — Rôle de cause brusque. — Rôle de cause instantanée. Rôle excitateur ou provocateur. — Rôle régulateur ou compensateur. — Rôle coordinatif. — Rôle d'inertie. — Rôle d'objet direct de la cause. — Rôle de liaison fixe. — Rôle de liaison déformable. — Rôle de liaison par enchaînement. — Rôle de liaison unilatérale. — Rôle désigné par comparaisons, assimilations, allégories. — Rôles simples et rôles composés.

Supposons qu'on ait groupé plusieurs rôles semblables entre eux dans des phénomènes disparates où ils interviennent et qu'on les ait affranchis de tout ce qui les rattache spécialement à telle ou telle espèce concrète de phénomènes ; qu'on leur ait laissé seulement ce qui est indispensable pour pouvoir y discerner leur manière commune d'intervenir dans l'existence des phénomènes respectifs auxquels ils se rapportent. L'ensemble de faits contenus dans leur noyau commun ainsi schématisé caractérisera un *type de rôles* embrassant et schématisant les rôles spécifiques dont on les a dégagés.

Un type de rôles est désigné :

1° Soit par un nom indiquant la manière d'intervenir

commune aux rôles du groupe qu'il schématise (rôle de cause, rôle de l'élément descriptif, rôle de liaison, rôle de résistance) ;

2° Soit par le nom propre à un des rôles du groupe, celui dans lequel le fait le plus significatif, caractérisant le groupe, apparaît plus clairement (rôle de terrain, rôle de coup, etc.),

3° Soit par l'énumération des faits composant le noyau du groupe (rôle consistant à coordonner tels ou tels faits, à donner telle ou telle orientation aux changements dans le phénomène, etc.).

On aura, par exemple, les types suivants qui se retrouvent sous une infinité de formes spécifiques dans les phénomènes de toutes sortes :

Rôle d'élément descriptif consistant à porter les changements par lesquels on décrit le phénomène (rôle joué par la vitesse de translation ou de rotation dans les mouvements ; par l'ensemble de deux coordonnées du sommet et de trois angles caractéristiques dans le mouvement de la toupie ; par l'intensité du courant dans la décharge d'un condensateur ; par la vitesse d'une réaction chimique ; par la température considérée comme indice du progrès d'une maladie, etc.

Rôle de cause consistant à imposer les changements à d'autres éléments jouant un rôle dans le phénomène (rôle joué par un aimant à l'approche d'une barre de fer, provoquant le mouvement de celle-ci ; par un acide versé sur le carbonate, provoquant la transformation chimique de celui-ci ; par la pile électrique intercalée dans un circuit et provoquant les modifications électriques dans celui-ci ; par les rayons lumineux faisant noircir la plaque sensible ; par une thérapeutique ou les bacilles au cours d'une maladie ; par le pouvoir moteur d'une idée dans un acte volontaire ; par les tendances

influentes du milieu dans les transformations des espèces, etc.).

Rôle de liaison consistant à lier entre eux les changements constitutifs du phénomène, à faire que les changements d'un certain nombre d'éléments entraînent, par le seul fait de leur accomplissement, des changements déterminés d'autres éléments, calqués sur les premiers, et cela de sorte que le lien entre eux n'est point conditionné par la manière dont les premiers sont imposés (rôle de liaisons matérielles, cinématiques, dans les mouvements, réglant les déplacements des points ou des corps, obligeant un point à rester sur une surface ou sur une courbe déterminée, ou assujettissant un corps à glisser le long d'une surface fixe, à tourner autour d'un point fixe, etc. ; par le fait de la proportionnalité permanente existant entre les quantités des corps chimiques dépensées au cours d'une réaction et les quantités des produits de réaction ; par le fait de l'existence de la loi de Mariotte, réglant les déformations élastiques des gaz parfaits ; par la loi de Kirchhoff réglant la distribution de l'électricité dans un réseau de conducteurs ; par la loi liant les variations de la pression osmotique d'une solution à celles de la température ; par diverses lois de conservation, comme celle de la matière, celle de l'électricité, de l'entropie, la loi d'incompressibilité des liquides, etc.)

Rôle d'obstacle consistant à rendre les changements d'un certain nombre d'éléments du système complètement impossibles, c'est-à-dire à rendre le mouvement du point figuratif complètement impossible dans les directions d'un certain nombre de ses coordonnées (rôle d'une liaison matérielle empêchant la mise en mouvement d'un corps solide ; rôle d'un mur impénétrable rencontré par un projectile ; rôle d'un écran opaque arrêtant les rayons

lumineux ; rôle des parois d'un vase empêchant le mélange de deux liquides ; rôle de la croûte qui se forme à la surface d'un corps solide transformé progressivement au cours d'une réaction chimique par un réactif liquide ; rôle de barrière géographique ou physiologique, auquel les théories de ségrégation attribuent la formation de nouvelles espèces biologiques, etc.

Rôle de terrain consistant à rendre les changements, dans lesquels consiste le phénomène plus ou moins sensibles pour un même assemblage de causes qui les motivent, de favoriser ou d'entraver l'avènement, la persistance, le déploiement d'un phénomène (rôle du mode de distribution des masses mécaniques ou d'un scalaire influant sur la propagation d'un mouvement, d'un état thermique ou électrique dans un champ ; rôle joué par l'état général d'un organisme exposé à l'attaque destructive de bacilles ; rôle joué par le caractère général de l'individu dans la production des actes volontaires ; par le champ de bataille dans une bataille rangée ; par le milieu au sein duquel se déroulent les événements économiques, politiques, historiques considérés, etc.).

En précisant divers détails qui peuvent se présenter dans la mise en jeu de tels types généraux de rôles, on voit apparaître d'autres types plus spéciaux et à noyau *plus complet* que celui des types précédents.

Analysons, par exemple, les détails par lesquels se traduit l'*action d'une cause*, c'est-à-dire le processus par lequel on convient d'expliquer le passage du fait de la présence d'un ensemble E, jouant le rôle de cause, aux particularités mêmes dans l'existence du phénomène, que la présence de E entraîne comme effet de la cause.

Lorsqu'au cours d'un phénomène, un élément *u* se met à varier en présence d'un ensemble E de circons-

tances lui imposant les variations, on attribue à cet ensemble, considéré comme cause des variations de u , une *tendance modificatrice* par rapport à cet élément. Cette tendance est d'autant plus forte que l'élément u , *objet direct* de la tendance, change plus vite en sa présence. Le rôle de la tendance modificatrice consisterait ainsi à imposer les modifications à la configuration du système descriptif du phénomène, c'est-à-dire à imposer le mouvement à son point figuratif ; l'on considère que ces modifications se produiraient infailliblement si elles n'étaient pas gênées par la présence d'autres faits qui les entravent ou en rendent même l'accomplissement impossible, malgré la persistance de la tendance modificatrice active.

On admet, de plus, que l'élément lui-même oppose de l'*inertie* aux changements et qu'à chaque instant, pour lui imposer les variations, l'ensemble E met en jeu une tendance modificatrice d'intensité égale à la grandeur de l'inertie de l'élément. Or, la grandeur de l'inertie est considérée comme variant en raison directe de la vitesse de variation de l'élément, le coefficient de proportionnalité, le *coefficient d'inertie* ou l'*inertie spécifique* de l'élément, représentant la grandeur de l'inertie pour la vitesse de variation égale à l'unité. Dans les mouvements de translation, par exemple, ce coefficient est désigné comme la masse du mobile ; dans les mouvements de rotation, c'est le moment d'inertie du corps ; dans les changements qu'éprouve l'intensité du courant fourni par la pile électrique intercalée dans un circuit, ce coefficient est la résistance électrique du circuit, etc.

L'intensité de la tendance modificatrice rattachée à E , mise en jeu à un instant considéré pour imposer des variations à l'élément u , afin d'être en rapport avec la grandeur de l'inertie qui lui est opposée, varierait donc,

elle aussi, d'instant en instant en raison directe de la vitesse des variations elles-mêmes et de l'inertie spécifique de l'élément. La grandeur absolue du produit de ces deux facteurs servirait de mesure d'intensité, à la fois pour la grandeur de l'inertie et pour la tendance employée par E à vaincre cette inertie. La tendance modificatrice serait à chaque instant affectée d'un *sens*, positif ou négatif, suivant que l'élément *u* en présence de E *croîtrait* ou *décroîtrait* à cet instant. Dans le premier cas, la cause est *impulsive* (renforçante) ; dans le second cas, elle est *dépressive*.

Ce serait là une manière de mesurer la tendance modificatrice *après coup*, c'est-à-dire de l'estimer d'après les variations qu'elle aurait fait subir à l'élément. Or, il y a des ensembles E auxquels se trouve rattachée une *loi permanente* permettant d'estimer *préalablement* la tendance de la manière suivante : on saurait à l'avance que le phénomène se passe comme si la tendance à faire varier l'élément *u*, rattachée à E, variait elle-même au cours du phénomène suivant une loi fixe, non subordonnée au mode dont la vitesse de variation de l'élément varie effectivement au cours du phénomène. A l'aide d'une telle loi, et sans avoir besoin de connaître les variations de l'élément qui en sont la conséquence, on peut estimer la tendance modificatrice de E en elle-même et à l'avance, pour tel instant qu'on voudra.

On connaît de nombreux cas de phénomènes régis par de semblables lois dont les plus fréquentes sont celles exprimant l'un des faits suivants :

1^o Invariabilité de la cause au cours du phénomène (cas de la pesanteur ou de la résistance de frottement des corps solides) ;

2^o Variabilité indépendante des particularités du phénomène, comme par exemple celle des causes péri-

diques (forces électromotrices mises en jeu dans les phénomènes des courants alternatifs ; composantes de la force d'attraction luni-solaire dans les phénomènes de la marée ; une foule de causes rythmiques dans les phénomènes naturels), ou bien celles des causes à variations exponentielles (cas de la variation de la tendance destructive des bacilles se multipliant par division en proportion géométrique) etc.

3° Proportionnalité à la grandeur d'un élément descriptif du phénomène (force d'évaporation électrique à la surface d'un liquide électrisé, proportionnelle à la charge électrique de la surface ; force dépressive dans le phénomène de variation de la pression barométrique, proportionnelle à la pression même ; résistance de l'air dans le mouvement lent d'un plan, proportionnelle à la vitesse du plan ; forces amortissantes et retardatrices dans un grand nombre de phénomènes) ;

4° Proportionnalité à l'excès de la grandeur d'un élément descriptif sur une grandeur fixe (force transformatrice dans les réactions chimiques monomoléculaires, proportionnelle à la quantité restante du corps transformable) ;

5° Proportionnalité à la racine carrée de l'excès de la grandeur d'un élément descriptif sur une grandeur fixe (force réglant les variations de la vitesse d'écoulement d'un liquide par un orifice, proportionnelle à la racine carrée de la hauteur du liquide au-dessus l'orifice) ;

6° Proportionnalité au carré de la grandeur d'un élément descriptif (résistance opposée par un gaz comprimé au mouvement rapide d'un plan, proportionnelle au carré de la vitesse du plan ; résistance intermoléculaire par laquelle s'explique l'extinction graduelle de la phosphorescence, proportionnelle au carré de la vitesse des molécules) ;

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

7° Proportionnalité à la totalité d'un élément descriptif (force mécanique variant en raison directe du chemin parcouru ; force de torsion variant en raison directe de l'angle de torsion ; résistance élastique dans les vibrations d'une tige encastrée ou d'une membrane, variant en raison directe de l'élongation ; force antagoniste dans la décharge des condensateurs électriques, proportionnelle à la charge électrique des armatures) ;

8° Proportionnalité inverse au carré de la totalité d'un élément descriptif (forces attractives des corps célestes, ou bien forces attractives et répulsives électriques et magnétiques, variant en raison inverse du carré des distances) ;

9° Proportionnalité à la grandeur de l'inertie d'un élément descriptif, autre que l'objet direct de la cause considérée (certaines causes dans les phénomènes de l'induction électromagnétique, ou dans le phénomène de l'induction optique provoquée par les changements brusques et intenses des excitations lumineuses) ;

10° Proportionnalité à la fois à plusieurs éléments descriptifs du phénomène (forces transformatrices dans les réactions chimiques homogènes polymoléculaires, proportionnelle aux concentrations du mélange par rapport aux corps actifs de la réaction) ;

11° Proportionnalité à la divergence d'un champ sur lequel la cause exerce son action (force d'influence du milieu ambiant sur la température ou sur le potentiel électrique d'un corps, proportionnelle à la divergence du champ thermique ou électrique au point considéré) ;

12° Combinaisons diverses des lois précédentes entre elles et avec les grandeurs des divers éléments géométriques et cinétiques du phénomène (composantes d'une cause dans la direction d'un élément ; force ayant pour

objet direct la vitesse de rotation d'un corps solide autour d'un point fixe ; forces ayant pour objets directs les rotations instantanées du trièdre fictif, fixé dans un corps solide, dans sa rotation autour d'un point fixe).

Le coefficient de proportionnalité dans toutes les lois précédentes peut varier d'un phénomène à un autre de même espèce, sans que la loi de cause ni les particularités qualitatives du mécanisme du phénomène en soient affectées. La grandeur de ce coefficient détermine en quelque sorte le degré d'activité de la cause ; il sera appelé *coefficient d'activité* de la cause par rapport au phénomène considéré. En mécanique, par exemple, le coefficient d'activité d'une force serait le cosinus de l'angle que fait la force avec la direction du mouvement. Dans le phénomène de l'absorption d'une radiation, le coefficient d'activité de la force affaiblissante serait la grandeur du pouvoir absorbant spécifique de la couche. Dans l'action des bacilles, le coefficient de leur force destructive serait le pouvoir destructif spécifique de l'espèce de bacilles considérée. Dans l'accroissement d'une population, ce sera le pouvoir reproductif moyen (coefficient de natalité) de la population. Dans les phénomènes à oscillations amorties, la grandeur du coefficient d'activité de la cause amortissante est celui déterminant la vitesse avec laquelle les oscillations s'amortissent.

En ce qui concerne l'inertie même, il y a lieu également de la considérer comme une cause à loi connue : elle varie en raison directe de la vitesse de variation de l'élément auquel elle se rattache, et aussi en raison directe du coefficient d'inertie qui est à considérer comme son coefficient d'activité. Elle peut, suivant le cas, être impulsive ou dépressive, mais elle doit toujours être envisagée comme étant de sens contraire à celui des

variations elles-mêmes, s'opposant à la croissance de l'élément lorsque celui-ci croît, s'opposant aussi à sa décroissance lorsqu'il décroît, et s'évanouissant lorsque l'élément ne change pas.

Il arrive qu'une même inertie s'oppose aux changements que tendent à imposer plusieurs causes C_1, C_2, C_3, \dots à la fois, chacune de celles-ci ayant l'élément u comme objet direct et une tendance individuelle à le faire varier, caractérisée par une loi permanente déterminée. Le changement de l'élément est alors assimilable à celui qui se produirait dans le cas où, l'inertie restant ce qu'elle est dans le cas d'une seule cause, la cause imposant les changements serait la superposition de causes C_1, C_2, C_3, \dots c'est-à-dire une cause affectée d'une tendance modificatrice d'intensité égale à la somme algébrique des intensités des tendances rattachées à C_1, C_2, C_3, \dots et dont chacune serait affectée d'une loi permanente individuelle.

Enfin, lorsqu'un système d'éléments varie simultanément en présence d'un ensemble E de circonstances qui lui impose les modifications, on attribue à E , considéré comme cause du changement du système, une tendance modificatrice individuelle pour chaque élément du système, de même rapport avec l'inertie de l'élément correspondant que dans le cas d'un seul élément. Ces tendances seraient, dans l'hyper-espace dans lequel se meut le point figuratif du système au cours du phénomène, les *composantes* de la tendance totale, attribuée à E , dans les directions respectives des éléments du système.

Outre les *causes directes* précédemment énumérées, appliquées directement à un élément descriptif du phénomène, à tendance directement opposée à l'inertie de l'élément et constamment en équilibre avec celle-ci au

cours du phénomène, il peut y en avoir d'autres qui, tout en n'étant pas directes, ne jouent pas moins le rôle de véritables causes du phénomène. Il arrive, notamment, qu'un ensemble déterminé de circonstances E impose des changements aux éléments descriptifs u_1, u_2, \dots du phénomène, mais *indirectement* en jouant le rôle de cause directe par rapport à un autre système v_1, v_2, \dots d'éléments, lesquels jouent, de leur part, des rôles déterminés dans les changements des éléments u_1, u_2, \dots eux-mêmes.

Tels seraient, par exemple, les ensembles E jouant le rôle de causes directes par rapport aux inerties spécifiques d'un phénomène, imposant ainsi indirectement des changements aux éléments du système. Tel serait, en particulier, dans le mouvement d'un pendule à masse variable, le rôle d'une cause quelconque ayant cette masse comme objet direct; ou bien, dans le mouvement rotatif d'un volant, le rôle d'une cause qui changerait le rayon du volant au cours du mouvement; ou bien le rôle d'une cause qui changerait le coefficient de self-induction ou la résistance électrique dans un circuit.

Tels seraient également les ensembles E qui, comme causes directes, feraient varier les intensités des causes directes elles-mêmes appliquées aux éléments descriptifs u_1, u_2, \dots du phénomène; ou bien qui feraient varier certains éléments secondaires en liaison déterminée avec les éléments u_1, u_2, \dots , ou bien changer le coefficient d'activité d'une cause directe du phénomène, ou modifier les faits mêmes imposant des liaisons au système u_1, u_2, \dots etc. C'est, par exemple, dans l'affaiblissement de l'intensité d'une radiation simple traversant une couche absorbante, le cas du rôle d'une cause faisant augmenter ou diminuer, comme son objet direct, le

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

pouvoir absorbant de la couche ; ou bien dans l'accroissement de la population d'un pays le cas du rôle d'une cause faisant croître ou décroître le coefficient de natalité du pays, etc.

Tel serait, enfin, le cas d'une foule d'ensembles E de toutes sortes et de toutes natures concrètes désignés communément comme *facteurs influents*, causes *secondaires*, causes *perturbatrices*, etc., et dont le rôle consiste à *exercer une influence* sur la marche du phénomène, ou bien à y introduire des perturbations, sans le faire directement aux éléments u_1, u_2, \dots et souvent sans qu'on sache exactement le mécanisme intime par lequel leur action vient influencer sur la marche du phénomène.

Cette esquisse établissant les particularités de la mise en jeu du rôle général de cause fait ressortir quelques autres types de rôles compris dans celui-ci et qui sont les suivants :

Rôle de cause directe joué par une cause mettant en jeu, par rapport à un élément descriptif du phénomène, une tendance modificatrice égale à l'inertie de l'élément. Tel est, par exemple, le rôle de la pesanteur par rapport aux composantes de la vitesse d'un projectile ; le rôle du couple moteur par rapport à la vitesse de rotation ; le rôle de la force électromotrice de la pile par rapport à l'intensité du courant dans un circuit ; le rôle de la force transformatrice chimique par rapport à la quantité du corps transformé au cours d'une réaction, etc.

Rôle de cause indirecte joué par une cause ayant pour objet direct, non pas un élément descriptif du phénomène, mais un autre élément jouant pour sa part un rôle déterminé dans les changements du système descriptif.

Rôle de cause impulsive joué par une cause directe ou indirecte tendant à imposer à son objet la croissance (rôle de la pesanteur dans un mouvement descendant ; rôle du couple moteur de même sens que la vitesse de rotation à laquelle il serait appliqué ; rôle de la virulence de microbes pathogènes dans le développement d'une maladie microbienne ; rôle de la force impulsive du cœur réglant la pression et la vitesse dans la circulation du sang ; rôle de la substitution du brôme au chlore dans un composé chimique, faisant augmenter la température d'ébullition de celui-ci, etc).

Rôle de cause dépressive joué par une cause directe ou indirecte tendant à opposer à son objet la décroissance (rôle de la pesanteur dans un mouvement ascendant ; rôle du couple moteur de sens contraire à celui de la vitesse de rotation ; rôle de la fonction phagocytaire des microphages ou macrophages dans le développement d'une maladie microbienne ; rôle de la résistance due à l'action modératrice des petits vaisseaux contractifs faisant diminuer la pression et la vitesse dans la circulation du sang ; rôle de la substitution du chlore au brôme dans un composé chimique, faisant diminuer sa température d'ébullition ; rôle de la lumière dans le développement des bacilles, etc).

Rôle de cause à loi quantitative connue joué par une cause directe ou indirecte variant au cours du phénomène suivant une loi fixe, connue à l'avance et susceptible d'une description numérique (rôle de cause invariable joué par la pesanteur ou par une résistance de frottement ; rôle de cause périodique joué par les forces électromotrices dans les phénomènes du courant alternatif ; rôle de cause variant en raison directe de son objet, joué par la force de vaporisation électrique à la surface d'un liquide électrisé ; rôle de la force de tor-

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

sion variant en raison directe de la totalité de son objet, etc).

Rôle de cause à particularités qualitatives connues joué par une cause directe ou indirecte variant au cours du phénomène suivant une loi dont on ne connaît que des particularités qualitatives déterminées, comme : la croissance ou la décroissance dans un intervalle considéré du temps, le caractère oscillant, l'intermittence, etc. (rôle de cause croissante joué dans une maladie par des bacilles se reproduisant et envahissant l'organisme ; rôle de cause décroissante joué par la lumière de moins en moins intense dans le développement des bacilles ; rôle de cause intermittente joué par les excitations intermittentes du muscle cardiaque dans divers phénomènes du cœur).

Rôle de cause résistante joué par une cause directe ou indirecte prenant naissance à l'apparition même des modifications d'un système d'éléments imposées par d'autres causes, s'évanouissant lorsque le système cesse de changer, réapparaissant lorsqu'il change à nouveau et toujours dépressive, quelles que soient les modifications subies par le système. Un pareil rôle est joué par les forces de frottement et les résistances du milieu dans les mouvements des corps matériels ou des particules de l'éther, ainsi que par une foule de causes diverses.

Rôle de cause réactive joué par une cause directe ou indirecte à laquelle donnent naissance les modifications mêmes au cours d'un phénomène et qui est, à chaque instant, d'un sens tel qu'elle tend à s'opposer à ces modifications (rôle joué par les forces électromotrices d'induction dans les phénomènes électriques ; rôle des réactions que provoquent sur la rétine les changements brusques de l'excitation réactives, d'origine cérébrale, s'opposant aux impulsions qui produisent l'influx nerveux

lors des excitations du centre nerveux ; rôle de diverses réactions dans la vie sociale).

Rôle de cause brusque joué par une cause directe ou indirecte apparaissant brusquement, d'intensité très grande, amenant immédiatement ces effets malgré la présence d'autres causes coagissantes antagonistes, et ces effets consistant dans des modifications extrêmement fortes qu'elle impose (rôle joué par l'orage, par des catastrophes géologiques dans l'histoire de la terre, par des catastrophes dans l'histoire des peuples, etc.

Rôle de cause instantanée joué par une cause directe ou indirecte agissant pendant un intervalle de temps suffisamment court pour que les modifications qu'elle impose dans cet intervalle même soient négligeables, mais suivies de modifications sensibles après que la cause aura cessé d'agir, et en rapport avec l'intensité de la cause (rôle joué par le choc mécanique, par une impulsion instantanée dans la conscience, par une impulsion électrique instantanée imprimée à l'aiguille du galvanomètre balistique).

Rôle excitateur (provocateur) joué par une cause très faible imposant, dans un intervalle très court de temps, de faibles modifications immédiatement suivies de modifications extrêmement rapides et très considérables, sans rapport aucun avec l'intensité de la cause qui les a ainsi provoquées et en disproportion complète avec celles provoquées directement par cette cause (rôle joué par l'étincelle provoquant la déflagration d'un explosif ; celui joué par l'établissement instantané d'un contact électrique provoquant une réaction chimique intense ; celui de faibles motifs provoquant une explosion de sentiments ; rôle des insignifiants en eux-mêmes déclenchant des événements politiques, historiques, etc. très graves).

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

Rôle régulateur (compensateur) consistant à imposer, directement ou indirectement, au phénomène déjà existant, des modifications de sens et d'intensités tels que le phénomène se maintient constamment entre les limites plus ou moins exigües, assignées par un tel rôle (rôle joué par le régulateur centrifuge de la machine à vapeur ou par le volant d'un moteur régularisant la vitesse ; celui du régulateur de la température joué par le thermostat ; celui de l'appareil de Kipp régularisant la production des gaz ; celui joué par les sels minéraux dans la régularisation de la pression osmotique dans l'organisme ; le rôle joué par les bulles gazeuses à la surface de certains organismes aquatiques dans la régularisation de leur respiration, etc.

Rôle coordinatif consistant à introduire une orientation dans le phénomène, une coordination des changements ayant pour effet l'orientation du point figuratif dans une direction déterminée, vers un point déterminé de son hyper-espace, etc. (rôle du champ magnétique dans l'orientation d'un système d'aiguilles aimantées ou de limaille de fer ; rôle du pouvoir coordinatif dans les actions humaines, individuelles ou collectives ; rôle de la discipline dans l'armée ; rôle d'institutions ayant pour but d'unifier, de coordonner les efforts individuels dans une direction commune, vers un but commun).

Rôle d'inertie d'un élément consistant à s'opposer aux changements que tend à imposer une cause et d'une façon d'autant plus intense que ces changements sont plus rapides (rôle de l'inertie mécanique dans les mouvements de translation ; rôle de la force centrifuge dans les mouvements de rotation ; rôle de certaines forces électromagnétiques dans les phénomènes d'induction ; rôle d'habitudes dans les phénomènes sociaux ou de la vie ordinaire).

Rôle d'objet direct d'une cause, joué par un élément auquel la cause tend à imposer les variations, changeant à chaque instant en raison directe de l'intensité de la cause elle-même (rôle des composantes de vitesse dans les mouvements d'un point matériel sous l'action des forces ; rôle de la vitesse dans les mouvements d'un point matériel sous l'action des forces ; rôle de la vitesse angulaire dans le mouvement de rotation d'un corps sous l'action d'un couple moteur ; rôle de l'intensité d'un courant provoqué dans un circuit par la force électromotrice d'une pile ; rôle de la quantité restante d'un corps chimique se transformant sous l'action des réactifs chimiques, etc.).

Parmi les rôles compris dans le type général de *rôle de liaison*, on peut également discerner plusieurs types de rôles plus spéciaux, mais à noyau plus complet, comme le seraient :

Rôle de liaison fixe consistant à établir un lien immuable entre les variations des éléments du système, tel que son point figuratif se trouve assujéti à rester constamment, pendant tout le cours du phénomène, sur une même multiplicité (surface, ligne) fixe dans son espace à n dimensions, et cela quelle soit la manière dont les variations aient été imposées. Tel serait le rôle des faits cités à la page 57 de ce chapitre.

Rôle de liaison déformable, défini comme le précédent, avec cette différence que la multiplicité sur laquelle reste constamment le point figuratif se déplace dans son espace à n dimensions, ou bien se déforme d'une manière déterminée au cours du phénomène. Tel serait le rôle d'une liaison matérielle, cinématique, assujettissant un point isolé ou faisant partie d'un corps solide à glisser constamment sur une surface ou une courbe mobile ou se déformant au cours du mouvement ;

le rôle de la loi de Kirchhoff régissant la distribution de l'électricité dans un réseau de conducteurs à résistances variables au cours du temps ; le rôle de la loi de Gay-Lussac régissant les déformations électriques des gaz parfaits lorsque la température varie avec le temps, assujettissant le point figuratif du système (ayant pour coordonnées le volume et la pression) à rester sur une hyperbole équilatère se déformant au cours du temps.

Rôle de liaison par enchaînement consistant dans ce fait purement qualitatif que, de même qu'un anneau d'une chaîne entraîne les autres, un ensemble de faits entraîne spontanément, sans l'intervention nécessaire d'autres causes apparentes, un ensemble déterminé d'autres faits. Telles serait la liaison entre divers faits disparates dans des phénomènes corrélatifs en biologie, en physiologie, en psychologie, comme : la liaison mise en évidence par l'influence réflexe du système nerveux sur les fonctions nutritives et sécrétives de l'organisme ; la liaison entre les excitations et les sensations ; les liaisons existant dans les associations des idées, etc. Le trèfle rouge, par exemple, a besoin, pour sa fécondation, des bourdons, à ce point qu'il deviendrait rare et disparaîtrait même dans une contrée si les bourdons y devenaient rares ou y disparaissaient ; or, le nombre de bourdons dépend dans une grande mesure du nombre des mulots qui détruisent les nids, et le nombre des mulots dépend de celui des chats. Il se trouve ainsi que le nombre de chats est en liaison par enchaînement avec la quantité du trèfle rouge dans une contrée (Darwin).

— Certaines parties du système nerveux exercent sur d'autres parties une action réflexe, sans l'intermédiaire du cerveau, et conséquemment sans conscience, ou si du moins, elle passe par le cerveau, elle produit ses effets indépendamment de la volonté. L'irritation, par

exemple, d'un nerf dans une région du corps peut produire d'elle-même une forte irritation dans une autre. Ainsi des éléments introduits dans l'estomac par l'œsophage provoquent la sécrétion de la salive ; de l'eau chaude injectée dans la portion inférieure de l'intestin excite la sécrétion du suc gastrique. De même, l'irritation de la membrane muqueuse du nez produit des larmes ; les sécrétions des yeux et du nez sont augmentées par l'exposition au froid d'autres parties du corps ; une brûlure étendue de la surface du corps produit une inflammation violente des viscères de l'abdomen, de la poitrine, de la tête ; la paralysie et l'anesthésie d'une partie du corps peut être déterminée par une névralgie d'une autre partie, etc.

Rôle de liaison unilatérale consistant à établir un lien entre les variations des éléments tel que les variations dans l'un ou l'autre sens (positif ou négatif) d'un certain nombre d'éléments deviennent impossibles. Le déplacement du point figuratif n'est possible dans la direction d'un certain nombre de coordonnées que dans un seul sens. Tel est le rôle des diverses liaisons matérielles unilatérales, comme celui d'une charnière ne permettant à la porte de s'ouvrir que d'un seul côté ; le rôle des liaisons unilatérales dans les phénomènes de la dynamique chimique, etc.

Aux types de rôles de liaison, il y a lieu d'adjoindre aussi le *rôle d'obstacle*, embrassé par ces types et cité à la page 57 de ce chapitre.

Souvent, au lieu de désigner un rôle, dans un phénomène considéré, par un nom indiquant sa propre nature, on le désigne par un nom caractérisant la nature plus spéciale d'un autre rôle qui lui est semblable, dans un autre phénomène tout différent. Ce dernier est choisi de manière que le fait le plus significatif caractérisant le

rôle considéré et faisant partie du noyau commun des deux rôles assimilés ainsi l'un à l'autre y apparaisse plus clairement ou bien évoque une image plus vive (rôle du coup de marteau, rôle du pivot, du coup de bélier, du rouleau-compresseur, de l'étincelle, du terrain, du nœud, du torrent, du tampon, de la barrière, de l'écueil, de percussion ou de répercussion ; rôle de l'objet placé entre le marteau et l'enclume ; rôle du frein, du fer rouge, rôle du coup oblique, du coup fait par ricochet).

Dans le même ordre d'idées on attribue, par métaphore ou par allégorie, au temps des rôles de toutes sortes de porteurs connus ou inconnus, le temps n'y intervenant d'ailleurs que comme l'éternelle variable indépendante. « C'est le temps qui travaille pour lui ». — « Le temps y met de jour en jour son empreinte ». — « Le temps est un lâche : ne jette-t-il pas les rides comme les Parthes lançaient les traits en fuyant » ? (Ninon de Lenclos). — « Le temps est le meilleur tamis ». — *Vulnerant omnes, ultima necat* (Inscription peinte au cadran de l'horloge de la vieille église du village d'Urrugne, près Bayonne). — « Même sur l'acier, la morsure obstinée du temps laisse des entailles tragiques ». — « Le temps tisse la trame de notre vie et chaque seconde laisse sa marque sur l'étoffe ». — « Cette œuvre, grandiose et sublime, est à comparer à ces monuments qui traversent les âges et que le temps respecte ». — « De la feuille du mûrier, le temps fait la soie ». — « Cette âme a pu s'opposer à l'érosion du temps qui coule comme un fleuve ». — « Le temps tissait entre eux des milliers de liens imperceptibles mais solides ». — « Le mensonge le plus calculé a un ennemi implacable : c'est le temps ». — « La nature et le temps sont deux grands médecins ».

Remarquons qu'un même élément, facteur ou fait, peut être porteur de plusieurs rôles à la fois. Un élément descriptif du phénomène peut, par exemple, jouer en même temps le rôle d'une cause directe ou indirecte par rapport à un autre élément du phénomène ou d'un phénomène différent ; une liaison peut être déformée au cours du phénomène par une cause de celui-ci ; les variations du terrain peuvent influencer sur les modes de variation de causes, etc. On peut considérer la force d'inertie sous deux aspects différents, comme résistante ou comme impulsive ; comme résistante, en tant que le corps s'oppose à la force qui tend à la faire changer d'état ; comme impulsive en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste (Newton). Les forces, dans la conception mécanique de Hertz, sont aussi à considérer comme des liaisons.

Une analyse plus subtile conduirait à distinguer les rôles en rôles *simples, élémentaires* (élément descriptif, cause directe) et rôles *composés* qui représenteraient l'agrégat de plusieurs rôles élémentaires (pouvoir coordinatif, rôle régulateur composé de plusieurs rôles de causes impulsives, dépressives, réactives, résistantes, rôles de liaisons, rôles d'obstacles, etc.)

III. — MÉCANISMES

Explication et mécanisme d'un phénomène. — Exemples simples de mécanismes. — Etapes successives dans la connaissance des mécanismes. — Ressemblance de mécanismes et leurs éléments homologues. — Exemples simples de ressemblance. — Ressemblance qualitative de mécanismes.

Un phénomène est à considérer comme *expliqué* lorsqu'on connaît :

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

1° l'assemblage de tout ce qui joue un rôle dans son existence (dans sa production ou son entretien) ;

2° les natures des rôles rattachés aux composants de cet assemblage ;

3° lorsqu'on a saisi comment une telle combinaison de rôles amène les particularités du phénomène comme conséquences nécessaires et infaillibles.

De telles connaissances équivalent à celles du *mécanisme* du phénomène.

On connaît, par exemple, le mécanisme d'un mouvement si l'on sait par les changements de quel système descriptif il se laisse décrire, quelles forces et quelles liaisons ont imposé de tels changements à ce système et comment, de la nature dynamique de ces forces et de la nature de ces liaisons, résulte le mouvement, tel qu'il est, comme conséquent nécessaire.

On connaît le mécanisme d'un phénomène d'interférences lorsqu'on sait qu'il est dû à la superposition des vibrations des particules, les vibrations étant imposées par des forces élastiques variant en raison directe de la distance, et quand on a saisi comment cette superposition amène tantôt le renforcement, tantôt l'évanouissement du phénomène.

On connaît le mécanisme de la décharge d'un condensateur électrique, en sachant que le phénomène peut être décrit par les variations de l'intensité du courant de décharge, imposées par la combinaison de causes connues directement opposées à l'inertie du phénomène ; la force contre-électromotrice de Coulomb variant en raison directe de la charge électrique, celle-ci jouant le rôle de totalité de l'élément descriptif ; à cela, il faut ajouter que le rôle d'inertie est joué par la force électromotrice d'induction variant en raison directe de la vitesse avec laquelle change l'intensité du courant et

que le mode effectif des changements de cette intensité est impliqué dans l'équation formée à l'aide de ces données.

On connaît le mécanisme des variations de la pression et de la vitesse dans la circulation du sang lorsqu'on sait qu'en admettant ces deux éléments comme éléments descriptifs du phénomène, leurs variations sont dûes à l'action combinée de deux causes, tantôt de même sens, tantôt antagonistes, suivant l'élément auquel elles sont appliquées ; la force impulsive du cœur, qui pousse le sang avec plus ou moins de force, et la résistance due à l'action modératrice des petits vaisseaux contractiles. La première cause est impulsive par rapport aux deux éléments ; la deuxième est impulsive par rapport à la pression et dépressive par rapport à la vitesse du sang. L'allure du phénomène est impliquée dans un schéma général correspondant à une telle combinaison de rôles et qu'on trouvera dans le chapitre suivant.

On connaît le mécanisme de la diminution du trèfle rouge dans une région pendant un temps considéré lorsqu'on sait qu'à cette époque une épidémie a décimé les chats de la région, que ceci a eu pour effet l'augmentation du nombre des mulots lesquels, détruisant les nids des bourdons, nécessaires pour la reproduction du trèfle rouge, ont déterminé la diminution de celui-ci. Le mécanisme consiste dans le jeu d'une cause dépressive (l'épidémie) et de liaison par enchaînement.

Il est, cependant, rare qu'on puisse connaître *tout* ce qui joue un rôle dans l'existence d'un phénomène considéré. Le phénomène est presque toujours dû au concours d'un grand nombre d'éléments, faits, facteurs, dont quelques-uns seulement nous sont connus. Mais, même dans des cas pareils, il arrive souvent :

1° que dans la collectivité intégrale C, inconnue ou

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

mal connue, d'éléments, faits, facteurs au concours desquels est dû le phénomène, on puisse en discerner quelques-uns parmi les plus importants, ceux qui donnent le type au phénomène au point de vue envisagé, et par le concours desquels on peut s'expliquer au moins ce qui est essentiel dans celui-ci ;

2° que, bien qu'on ne connaisse pas individuellement les rôles rattachés aux composants de la collectivité C, on puisse du moins arriver à saisir des types de rôles à caractère déterminant rattachés à des collectivités partielles C_1 , C_2 , C_3 ... d'éléments, faits, facteurs, faisant partie de C, individuellement inconnus ou mal connus, souvent en très grand nombre ;

3° que, malgré qu'on soit en présence d'un rôle complexe et qu'on ne connaisse pas les rôles élémentaires dont il est l'agrégat, la nature collective connue de ce rôle complexe suffise à elle seule à expliquer ce qu'on a en vue dans le phénomène.

Dans tous ces cas, on connaîtra encore le mécanisme du phénomène, du moins dans ses grands traits, mais celui-ci devra alors être seulement considéré comme une *première étape* dans l'explication du phénomène. Lorsque, avec le progrès des connaissances, on arrive à discerner dans la collectivité C quelque composant jusque là inconnu, et son rôle individuel dans l'existence du phénomène, ou bien à reconnaître que tel rôle collectif se laisse décomposer en un ensemble de rôles élémentaires mieux déterminés, cela n'infirmes pas nécessairement les conséquences tirées du mécanisme primitif, mais conduit le plus souvent à le compléter par de nouveaux détails, à transformer progressivement le mécanisme primitif grossier en un mécanisme plus complet et plus précis.

Le phénomène des marées, par exemple, est dû au

concours d'un nombre considérable de facteurs comme les forces d'attraction du soleil et de la lune, les circonstances locales ou accidentelles comme la configuration du fond de la mer, le degré de resserrement des eaux dans les terres, la direction des vents, etc. Ce sont, cependant, les deux premiers facteurs qui donnent le type au phénomène et qui suffisent à expliquer ce qui lui est essentiel.

Une première observation conduit à reconnaître qu'une collectivité de facteurs exerce une action nuisible sur une telle ou telle espèce de microbes ; on attribuera à cette collectivité un rôle de cause dépressive et en faisant entrer ce rôle en ligne de compte, en le combinant à d'autres rôles déjà connus dans le mécanisme d'une maladie considérée, on tirera les conséquences qu'implique une pareille combinaison. Des observations plus pénétrantes feront reconnaître qu'une telle action nuisible, caractérisant la collectivité, provient de ce qu'il se produit une coagulation de protoplasma, une oxydation aboutissant à la destruction de la matière organique, qu'il s'établit une combinaison avec la matière vivante microbienne incompatible avec la fonction vitale de la cellule, qu'il se forme à la surface une couche modifiant les relations d'osmose et entravant ainsi plus ou moins la vie microbienne, qu'il y a un changement de constitution du milieu devenant impropre à la vie cellulaire, etc. De tels faits amèneront seulement à compléter, sans l'infirmier, le type primitif du mécanisme de la maladie par des détails supplémentaires et à en tirer des conséquences plus nombreuses et plus précises.

Dans le même ordre d'idées, on sait aujourd'hui à quel degré sont multiples et complexes les produits volatils ou stables, alcaloïdiques ou diastasiques, d'origine microbienne cellulaire ou mixte qui naissent au cours

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

d'une infection (A. Charrin). Tant au point de vue de leur nature qu'à celui de leurs attributs, cette multiplicité aussi bien que cette complexité ont mis en pleine lumière l'insuffisance et l'étroitesse de la vieille formule « le microbe fait la maladie à l'aide de sa toxine ». Mais il n'en reste pas moins vrai que le seul fait d'avoir reconnu le rôle destructif de microbes a déjà rendu d'immenses services comme une première étape dans la connaissance du mécanisme de maladies microbiennes.

Le rôle coordinatif dans les actions humaines, qui est un rôle essentiellement complexe, agrégat d'un grand nombre de rôles de causes impulsives, dépressives, réactives, de liaisons de diverses espèces, etc., à porteurs inconnus ou mal connus suffit tel quel, sans être décomposé en ses éléments simples, à expliquer une foule de phénomènes et, joint à d'autres rôles reconnus comme intervenant dans ces actions, il en fournit un premier mécanisme, une première étape d'explications.

Divers rôles qualifiés comme rôles de liaison, peuvent, avec le progrès des connaissances, être identifiés avec des rôles d'une nature plus complexe, qu'il devient possible d'analyser et dont on arrive à discerner les composants. Ainsi, divers rôles complexes, consistant en ce qu'un ensemble de faits entraîne spontanément, sans intervention d'autres causes apparentes, un ensemble déterminé d'autres faits et que nous avons qualifiés rôles de liaison par enchaînement (p. 72), peuvent être reconnus composés d'un assemblage de rôles élémentaires de causes impulsives, dépressives, de liaisons fixes, etc.

Le fait, par exemple, que l'irritation d'un nerf dans une région du corps produit d'elle-même une excitation dans une autre, est certainement dû à un mécanisme plus complexe. Mais même en n'attribuant à un fait pareil qu'un simple rôle de liaison par enchaînement, qui n'est

qu'un schéma très simplifié du véritable mécanisme du phénomène, un tel rôle fictif peut déjà servir d'instrument utile pour la prévision de particularités d'une foule de phénomènes. Et ces prévisions ne seront en rien infirmées lorsque le mécanisme intime et complet du phénomène étant dévoilé, on connaîtra toutes les boucles de la chaîne reliant un phénomène à l'autre. Remarquons qu'en Mécanique ordinaire même, il est parfaitement indifférent de considérer, ainsi qu'il en est dans la conception de Hertz, les forces comme des liaisons, pourvu que l'on connaisse leur mode d'intervention dans le mouvement considéré.

D'une manière générale, les connaissances plus approfondies viendront compléter les mécanismes primitifs et la première étape d'explication des phénomènes, fournie par ceux-ci, sera suivie d'une deuxième, d'une troisième, etc. apportant plus de précision et un plus grand nombre de détails compris et expliqués.

Les mécanismes d'un groupe de phénomènes disparates présentent entre eux une *ressemblance* lorsqu'il s'y laisse discerner un ensemble de rôles semblables, formant ainsi une série de rôles *homologues* des phénomènes du groupe et dont le noyau commun contient ce qu'il faut pour que les particularités communes des phénomènes s'en suivent nécessairement. La ressemblance est plus ou moins grande, suivant le nombre des séries de rôles homologues, suivant le degré de ressemblance des rôles faisant partie d'une telle série et suivant l'importance de ce qui compose leur noyau au point de vue de l'explication des phénomènes. Toutes les transitions peuvent se rencontrer, de l'analogie complète jusqu'à la ressemblance vague entre les phénomènes.

Considérons à titre d'exemple, le groupe de deux phénomènes disparates suivants :

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

1° Le mouvement d'un volant muni d'ailettes, dans un milieu résistant, sous l'action d'un couple moteur constant ;

2° Le changement d'un courant électrique dans un circuit offrant une résistance électrique sensible, avec self induction, le courant étant produit par une pile constante intercalée dans le circuit.

Le premier phénomène peut être décrit par les changements de la vitesse angulaire du volant imposés par la superposition de :

a) La force d'inertie du volant, variant en raison directe de la rapidité de changement de la vitesse angulaire et qui est tantôt impulsive, tantôt dépressive, suivant que le mouvement du volant se ralentit et s'accélère ;

b) Le couple moteur constant, représentant une cause impulsive ;

c) La force de résistance du milieu, variant en raison directe de la vitesse angulaire du volant et ayant un caractère dépressif.

Le second phénomène se laisse décrire par les changements de l'intensité du courant électrique imposés par la superposition de :

a) La force d'inertie électrique du circuit, variant en raison directe de la rapidité de changement de l'intensité du courant et qui est tantôt impulsive, tantôt dépressive, suivant que l'intensité du courant s'affaiblit ou se renforce ;

b) La force électromotrice constante de la pile, représentant une cause impulsive ;

c) La force électrique de résistance variant en raison directe de l'intensité du courant et ayant un caractère dépressif,

La ressemblance des mécanismes est manifeste et il

s'en dégage le noyau commun consistant dans l'ensemble de faits suivants :

a) L'existence d'un élément descriptif dans chacun des deux phénomènes (vitesse angulaire du volant dans le premier, l'intensité du courant dans le second) qui, par ses significations concrètes dans ces phénomènes fournit une première série de rôles homologues ;

b) Le fait que chacun des deux phénomènes consiste dans les changements de l'élément descriptif correspondant imposés par la superposition de trois causes : l'une variant en raison directe de la vitesse de changement de l'élément descriptif et qui est tantôt impulsive, tantôt dépressive, suivant que ce changement se ralentit ou s'accélère ; une autre ne changeant pas au cours du phénomène et ayant un caractère impulsif ; une troisième variant en raison directe de l'élément lui-même et ayant un caractère dépressif.

Le noyau commun contient tout ce qu'il faut pour que les particularités communes des deux phénomènes s'en suivent infailliblement. Les rôles homologues seraient : une première série composée de la vitesse angulaire du volant et de l'intensité du courant ; une deuxième série composée de la force d'inertie mécanique du volant et de la force d'inertie électrique du circuit ; une troisième série se composant du couple moteur et de la force électromotrice de la pile ; une quatrième série se composant de la force de résistance du milieu et de la force de résistance électrique du circuit.

On a là une analogie complète des mécanismes : il suffit de substituer à un élément, facteur ou fait, faisant partie du mécanisme d'un des deux phénomènes, l'élément, facteur ou fait, qui lui est homologue dans le mécanisme de l'autre phénomène, pour transformer le premier mécanisme en second.

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

La ressemblance est beaucoup moins complète entre le mécanisme de l'accumulation du sulfate de potas dans la réaction chimique entre le carbonate de potas et l'acide sulfurique, et le mécanisme du progrès d'une maladie microbienne. Le noyau commun de deux mécanismes consiste dans l'ensemble de faits suivants :

a) L'existence d'un élément descriptif dans chacun des deux phénomènes, illustrant par ses variations la marche du phénomène (la quantité de sulfate dans le premier, température, le pouls ou un autre symptôme, marquant le progrès de la maladie dans le second phénomène)

b) Ces variations sont imposées, entre autres facteurs par une cause impulsive, qui est l'acide sulfurique dans le premier et l'ensemble de microbes pathogènes dans le second phénomène.

La ressemblance n'est ici que *qualitative*, l'ensemble de particularités communes aux deux mécanismes n'étant que d'une nature purement qualitative et n'entraînant également que des particularités qualitatives communes aux allures des phénomènes respectifs (par ex. la croissance de l'élément descriptif au cours du temps).

Par contre, la ressemblance de deux mécanismes dans le premier exemple est *quantitative*, l'ensemble de faits composant leur noyau commun étant d'une nature quantitative et entraînant aussi des particularités quantitatives communes aux allures des deux phénomènes, impliquées dans leur équation différentielle commune.

IV. — TYPES DE MÉCANISMES

Type déterminé de mécanisme. — Exemples simples
de types de mécanismes.

Le noyau commun à un groupe de mécanismes semblables, dégagé de tout ce qui le fait rattacher spécialement à telle ou telle espèce concrète de phénomènes, réduit à ce qui est strictement nécessaire et suffisant pour que les particularités communes des phénomènes correspondant en découlent comme conséquences nécessaires, représente un *type de mécanismes* embrassant les mécanismes de plusieurs phénomènes disparates malgré toute leur diversité possible.

Un tel type schématise ainsi les mécanismes d'une foule de phénomènes, en réduisant l'image d'un mécanisme quelconque du groupe à une sorte de croquis juste suffisant pour pouvoir, au besoin, reconstruire l'image primitive en rendant aux traits généraux du croquis les spécificités dont on l'avait dépourvu. Un même type de mécanismes revêtira telle ou telle forme spécifique dans tel phénomène concret ; il en revêtira une toute autre différente dans tel autre phénomène et c'est la diversité même de ces formes spécifiques qui fait l'immense diversité des phénomènes naturels.

Quelques exemples simples feront saisir la forme d'un tel type de mécanismes ; on en rencontrera une foule d'autres plus compliqués dans les chapitres qui vont suivre.

I. — Le mouvement descendant d'un corps pesant dans le vide se passe comme si, à chaque instant, un accroissement positif et invariable était imposé à la vitesse du corps. On convient de considérer le phénomène

comme étant dû à une cause impulsive d'intensité invariable (la pesanteur) ayant pour objet direct la vitesse du corps.

D'autre part, les modifications d'un courant électrique dans un circuit de résistance négligeable, dans lequel se trouverait intercalée une pile électrique constante, s'effectuent comme si à chaque instant un accroissement positif et invariable était imposé à l'intensité du courant. On considère le phénomène comme étant dû à une cause impulsive invariable (la force électromotrice de la pile) ayant pour objet direct l'intensité du courant dans le circuit.

Les deux mécanismes présentent une ressemblance manifeste, dont on tire facilement le noyau commun et les trois séries de rôles homologues ; une première série composée des éléments descriptifs (vitesse du corps et intensité du courant) ; une deuxième composée de causes impulsives invariables (pesanteur et force électromotrice de la pile), et une troisième composée des inerties des phénomènes (inertie mécanique et inertie électrique).

Les mécanismes appartiennent donc au type suivant : *changement d'un élément sollicité par une cause impulsive invariable et directement opposée à l'inertie de l'élément.* On peut le résumer comme *action d'une cause directe invariable.*

II. — Le refroidissement graduel d'un corps solide dans un milieu tranquille, par échange de chaleur avec celui-ci, se passe comme si à chaque instant une diminution variant elle-même d'instant en instant en raison directe de la température était imposée à la température du corps. On convient de considérer le phénomène comme étant dû à une cause dépressive ayant pour objet direct la température du corps et d'intensité

variant d'instant en instant en raison directe de la température.

D'autre part, la déperdition de l'électricité sur la surface d'un liquide électrisé, par suite de l'évaporation de celui-ci, se passe comme si à chaque instant une diminution variant elle-même d'instant en instant en raison directe de la charge était imposée à la charge électrique superficielle du liquide. On considère le phénomène comme étant dû à une cause dépressive ayant pour objet direct la charge électrique à la surface du liquide et d'intensité variant en raison directe de cette charge.

Enfin, le changement quantitatif graduel de la composition chimique d'un mélange au sein duquel un composé défini se transforme progressivement sous l'action d'un agent physique ou d'un ferment, se passe comme si à chaque instant une diminution variant elle-même d'instant en instant en raison directe de cette quantité, était imposée à la quantité restante du composé. On peut considérer le phénomène comme étant dû à une cause dépressive ayant pour objet direct la quantité restante du composé dans le mélange et d'intensité variant en raison directe de cette quantité.

La ressemblance des mécanismes des trois phénomènes disparates est manifeste ; on en dégage facilement le noyau commun et les deux séries de rôles homologues : une première série composée des éléments descriptifs (température, charge électrique, quantité restante du composé transformable) et une deuxième composée des causes dépressives de nature indiquée.

Les trois mécanismes appartiennent au type suivant : *changement d'un élément sollicité par une cause dépressive variant en raison directe de l'élément lui-même et directement opposée à l'inertie de l'élément.* On peut le

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

résumer en action d'une cause directe dépressive variant en raison directe de la grandeur de son objet.

III. — Le phénomène, considéré tout à l'heure, du mouvement d'un volant muni d'ailettes, dans un milieu résistant, sous l'action d'un couple constant, consistait dans les changements de la vitesse angulaire du volant imposés à la fois par le couple moteur, ayant une action impulsive, et par la force de résistance du milieu, variant elle-même en raison directe de la vitesse angulaire du volant et ayant un caractère dépressif.

Le second phénomène, analogue au premier, des changements électriques dans un circuit à résistance et self-induction sensible, consistait dans les changements d'intensité du courant imposés à la fois par la force électromotrice constante de la pile, ayant une action impulsive, et la force électrique de résistance (force réactive contre-électromotrice) variant elle-même en raison directe de l'intensité du courant et ayant un caractère dépressif.

Le noyau commun des deux mécanismes ressemblants et les séries de rôles homologues sont mis en évidence dans ce qui précède ; les mécanismes appartiennent au type suivant : *changement d'un élément sous l'action simultanée de deux causes directes, l'une impulsive invariable, l'autre dépressive et variant en raison directe de la grandeur de l'élément.*

IV. — Le centre de gravité d'un corps céleste se meut dans le champ de l'action attractive du soleil comme étant sollicité par une force attractive émanant du centre du soleil, dirigée suivant la droite reliant ce centre à celui de gravité du corps, d'intensité variant en raison inverse du carré de la distance des deux centres et d'un caractère dépressif. La force se laisse décomposer en trois composantes suivant les axes des coordonnées rec-

tangulaires, ayant chacune comme objet direct la composante de la vitesse du centre de gravité dans la direction d'un des axes.

D'autre part, une particule électrisée se meut dans le champ d'une force électrique, émanant d'un centre, de la même manière que le centre de gravité dans le mouvement précédent et les deux mécanismes ressemblants appartiennent au type suivant : *changements simultanés de trois éléments* (coordonnées du centre de gravité ou de la particule électrisée) *sollicités chacun par une cause directe, ces trois causes étant les composantes, dans les directions de ces éléments, d'une même cause centrale.*

V. — Considérons les deux phénomènes suivants à mécanismes ressemblants :

a) La propagation de la chaleur le long d'un fil métallique, d'une longueur suffisante, isolé de l'influence thermique du milieu et dont la température à une extrémité est maintenue invariable pendant la durée du phénomène ;

b) La propagation de l'électricité le long d'un fil de longueur suffisante, isolé de façon à rendre impossible les pertes latérales et dont un bout est maintenu à un potentiel invariable au cours du phénomène, l'autre extrémité étant reliée au sol.

La théorie des deux phénomènes ramène leurs mécanismes à un même type qui est le suivant : propagation, de proche en proche, d'un état le long d'un fil suffisamment long pour que l'état sur l'une de ses extrémités n'ait pas d'influence sensible sur l'état d'un point intermédiaire, les modifications le long du fil, par lesquelles s'effectue la propagation, étant imposées par l'ensemble de faits suivants : l'état en un point quelconque du fil tend à s'égaliser avec les états caractérisant son voisinage immédiat et cela de manière à ce que

PARTICULARITÉS COMMUNES AUX MÉCANISMES

cette tendance modificatrice varie en raison directe de la différence des états au point considéré et dans son voisinage immédiat, qu'elle décroît très rapidement avec la distance des points considérés en devenant insensible en dehors du voisinage immédiat du point considéré. Le type se peut résumer de la *manière suivante* : *propagation d'un état de proche en proche dans un champ linéaire sous l'action d'une cause directe variant en raison directe de la divergence du champ par rapport à l'état considéré.*

VI. — Examinons les deux phénomènes suivants :

a) Modifications d'un système de deux courants électriques dans deux circuits à résistances et self-induction sensibles, sans induction réciproque, avec une pile intercalée dans chacun des deux circuits.

b) changement graduel quantitatif de la composition chimique d'un mélange dans lequel deux composés définis se transforment simultanément et progressivement, chacun sous l'action simultanée d'une force chimique transformatrice invariable et favorisant la transformation du composé, et d'une autre cause s'opposant à cette transformation avec une intensité variant en raison directe de la quantité du produit de transformation au cours de la réaction (cas pratiquement réalisé dans le cas de réactions homogènes bimoléculaires).

La théorie des deux phénomènes conduit à les classer sous un même type de mécanismes qui est le suivant : *le système de deux éléments change au cours d'un phénomène, les changements étant imposés par la superposition de deux causes directes : l'une impulsive et invariable, l'autre dépressive et variant en raison directe de son objet.*

VII. — Envisageons encore le groupe des trois phénomènes suivants :

- a) Phénomène de la marée ;
- b) Changements d'un courant électrique sous l'action d'une force électromotrice produite par la rotation uniforme d'un cadre dans un champ magnétique uniforme autour d'un axe perpendiculaire au champ ;
- c) Phénomène des variations périodiques du parfum dégagé par les fleurs au cours des alternances du jour et de la nuit.

Le premier phénomène est caractérisé par les variations du niveau de la mer en un endroit considéré, les variations étant dûes aux composantes de la force d'attraction de la lune et du soleil, toutes périodiques.

Le second phénomène est caractérisé par les variations de l'intensité du courant imposées par l'ensemble des forces électromotrices périodiques.

Le troisième est caractérisé par la périodicité des variations de l'intensité du parfum, imposées à la fois par deux causes périodiques : l'une consistant dans la pression de l'eau dans les cellules ; l'autre, également périodique, par laquelle se manifeste l'action de la lumière facilitant, d'une part la transformation des produits odorants dans la fleur, et, d'autre part, combattant la turgescence. Les deux causes varient périodiquement avec les alternances du jour et de la nuit.

Les trois mécanismes rentrent donc dans le type simple suivant : *changement d'un élément sous l'action de causes périodiques.*

D'autres types de mécanismes plus complexes comporteraient des rôles et des combinaisons plus variés et aussi plus complexes que ceux des exemples précédents, choisis parmi les plus simples. On en rencontrera au cours des chapitres suivants.

CHAPITRE III

LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS D'ALLURE ET DE MÉCANISME

I. — GÉNÉRALITÉS

Effet direct et indirect de causes. — Totalité de l'effet. — Influences ou perturbations dues aux causes indirectes. — Impulsion d'une cause instantanée. — Un type déterminé de mécanisme implique un certain nombre de particularités d'allure. — Problème fondamental de la phénoménologie générale.

La mise en jeu du mécanisme du phénomène, le *fonctionnement* de celui-ci, amène invariablement comme conséquence un ensemble déterminé de particularités d'allures qui lui sont rattachées. En présence de l'ensemble d'éléments, de facteurs, de faits faisant partie du mécanisme, se produiront des modifications déterminées du système descriptif du phénomène; celles-ci détermineront les particularités d'allure correspondantes se manifestant extérieurement sous telle ou telle forme spécifique suivant la nature du phénomène. Le point figuratif de celui-ci adoptera un mouvement qui fournira l'image du phénomène et dont le mode sera réglé par ce qui compose le mécanisme.

Dans le cas où l'assemblage de rôles engagés dans le phénomène comporte ceux des liaisons, l'image du phénomène peut se réduire à une image plus simple, formée d'un nombre plus restreint d'éléments : on

peut le remplacer par celui d'un autre point figuratif, dans un espace à un nombre plus petit de dimensions. Les méthodes analytiques conduisent, en effet, à remplacer dans ces cas le point figuratif primitif, affecté d'un mouvement *lié* dans l'espace à n dimensions, par un point figuratif *réduit*, se déplaçant *sans aucune autre liaison* sur une variété déterminée à $n-k$ dimensions, k étant le nombre de liaisons primitives. Mais dans ce cas, pour former l'image du phénomène décrit à l'aide d'éléments descriptifs primitivement choisis, il faudra, à l'aide de liaisons, revenir du mouvement du point figuratif réduit à celui du point figuratif primitif.

Le déplacement du point figuratif pendant un intervalle du temps considéré, s'il est dû exclusivement à la présence d'un ensemble de causes directes, est à considérer comme *effet direct* de cet ensemble produit dans cet intervalle du temps; s'il est dû exclusivement à la présence d'un ensemble de causes indirectes, il sera l'*effet indirect* de celui-ci. Les variations de la vitesse d'un corps pesant tombant dans le vide, par exemple, représentent l'effet direct de la pesanteur; ces variations sont l'effet direct de la pesanteur et de la résistance du milieu si le corps tombe dans un milieu résistant; l'échauffement qu'éprouve le corps dans cette chute est l'effet indirect de ces deux causes.

Dans ces cas, le diagramme fournissant l'image des variations de la grandeur de l'effet au cours du temps pendant la durée du phénomène fournit en même temps l'image de son allure dans la phase considérée. Sur ce diagramme, l'aire de la surface limitée par l'axe du temps, l'arc de la courbe du diagramme et deux ordonnées correspondant aux limites de l'intervalle considéré du temps, représente la *totalité de l'effet* dans cet intervalle; c'est là un élément jouant un rôle impor-

tant dans le fonctionnement des mécanismes des phénomènes naturels.

Dans le cas où le rôle d'un ensemble de causes consiste à imposer des modifications déterminées à des variations déjà existantes des éléments descriptifs du phénomène, la différence entre le mode de mouvement du point figuratif en présence de cet ensemble et celui qu'il aurait effectué en son absence (cette différence étant à chaque instant mesurée par l'écart des deux positions correspondantes du point figuratif) doit être considérée comme *influence* exercée par cet ensemble de causes sur la marche du phénomène, ou bien comme *perturbation* introduite par cet ensemble dans ladite marche. Une telle influence peut se traduire par des caractères particuliers imposés aux variations des éléments descriptifs, c'est-à-dire au mouvement du point figuratif, comme le seraient : le caractère rythmique, oscillant, l'amortissement progressif plus ou moins rapide des oscillations, le caractère saccadé, diverses sortes de discontinuités, etc. ainsi qu'on le verra dans les cas exposés plus loin. C'est même par l'influence ou les perturbations qu'elle imprime à la marche d'un phénomène, qu'on estime *après coup* l'intensité relative d'une cause indirecte ; celle-ci est à considérer, dans un cas donné, comme d'autant plus forte que son influence y est plus sensible.

L'effet ou l'influence d'une cause instantanée consiste dans la grandeur de l'*impulsion* qu'elle fait imprimer à la marche du phénomène, cette grandeur pouvant être estimée par le déplacement du point figuratif imposé par l'impulsion.

Les particularités d'allure rattachées à celles de mécanisme sont infiniment variées suivant la composition du mécanisme et les formes extérieures par lesquelles se traduisent les variations résultant d'une telle compo-

sition. Or, si, d'une part, l'on affranchit ces particularités des formes extérieures spécifiques sous lesquelles elles apparaissent et si, d'autre part, on substitue au mécanisme effectif le mécanisme fictif représentant son *type*, une grande uniformité s'introduit dans les rapports entre le mécanisme et les particularités du phénomène qui en résultent. Aux mécanismes appartenant à un même type se trouvent invariablement rattaché un même ensemble de particularités d'allure, quelle que soit la prodigieuse diversité des masques extérieurs qui les voilent.

Chaque type de mécanisme implique ainsi un ensemble déterminé de particularités d'allure. Si les faits contenus dans la description du mécanisme sont de nature quantitative, il en sera de même pour certains faits contenus dans la description d'allure, qui en résulte. Si ces faits ne se prêtent qu'à une description qualitative, ils entraîneront aussi des particularités qualitatives de l'allure du phénomène.

L'un des problèmes fondamentaux de la Phénoménologie générale consisterait en ceci : *en disposant de données quantitatives ou qualitatives sur le mécanisme du phénomène, prévoir les particularités d'allure de celui-ci qui leur sont rattachées*. Le problème est du ressort de l'analyse mathématique et consiste dans l'intégration des équations différentielles correspondantes et dans l'interprétation concrète des faits analytiques impliqués dans celle-ci, lorsque les données sont de nature quantitative ; ou bien dans l'étude qualitative des équations du phénomène, ou même dans des raisonnements directs, lorsque les données sont qualitatives. Les procédés analytiques par lesquels s'obtient la solution ne sauraient trouver place ici. Nous nous bornerons à en indiquer quelques résultats, sous la forme de schémas

ALLURE ET MÉCANISME

résumant sa solution pour quelques-unes des plus simples combinaisons de rôles qui se rencontrent dans divers types de mécanismes des phénomènes naturels.

II. — QUELQUES SCHEMAS DE LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS D'ALLURE ET DE MÉCANISME

PREMIER SCHEMA. — *Phénomènes à un élément descriptif, dûs à l'action directe d'une cause, impulsive ou dépressive, sensiblement invariable.* L'élément croîtra ou décroîtra indéfiniment au cours du phénomène, suivant que la cause sera impulsive ou dépressive ; dans tous les cas, la loi de cette variation sera linéaire et le diagramme du phénomène sera une ligne ne différant pas sensiblement d'une droite.

DEUXIÈME SCHEMA. — *Phénomènes à un élément descriptif dûs à l'action d'une cause variable à variations indépendantes.* L'élément croîtra ou décroîtra constamment, suivant que la cause sera impulsive ou dépressive ; il passera par des maxima et des minima aux moments où l'intensité de la cause passera par zéro. Dans le cas particulier où la cause est périodique, le phénomène le sera également, ayant pour période celle de la cause elle-même.

TROISIÈME SCHEMA. — *Phénomènes à un élément caractéristique dûs à une cause dépressive qui se dépense, en agissant, en raison directe de l'effet produit.* L'élément variera constamment dans un même sens, en décroissant et tendant asymptotiquement vers zéro. Cette décroissance est d'autant plus rapide que le coefficient d'activité de la cause est plus grand et l'inertie spécifique de l'élément plus faible. Dans tous les cas, le phénomène devient de plus en plus faible et finit par s'éteindre

au bout d'un temps plus ou moins long, suivant la grandeur du coefficient d'activité de la cause et la grandeur de l'inertie.

QUATRIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à un élément dûs à une cause variable, variant en raison directe de la totalité de l'effet produit.* Le phénomène sera oscillatoire et périodique ; la période et l'amplitude des oscillations sont d'autant plus grandes que l'inertie de l'élément est plus sensible et le coefficient d'activité de la cause plus faible.

CINQUIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à un élément dûs à l'action de deux causes antagonistes : l'une impulsive d'intensité invariable, l'autre dépressive à retard constant, d'intensité variant en raison directe de l'effet produit mais correspondant à un instant antérieur.* Le phénomène sera la superposition d'un phénomène constant et de phénomènes partiels qui se dissipent avec des vitesses différentes, les uns suivant une loi exponentielle, les autres, introduits par le retard, à variations oscillatoires amorties, d'amplitudes et de périodes différentes. Les phénomènes partiels exponentiels faiblissent de plus en plus au cours du phénomène et d'autant plus rapidement que le coefficient d'activité de la cause variable est plus grand et l'inertie spécifique de l'élément plus faible ; au contraire, l'amortissement des phénomènes partiels oscillatoires est d'autant plus rapide que ces deux facteurs sont, le premier plus faible, le second plus fort. Le phénomène résultant tend vers un état final asymptotique en effectuant autour de cet état une série d'oscillations amorties.

SIXIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à un élément dûs à l'action simultanée de deux causes variables, variant, l'une en raison directe de l'effet produit, l'autre en raison directe de la totalité de cet effet.* Le phénomène sera continu ou

oscillant suivant les grandeurs relatives de l'inertie spécifique et du coefficient d'activité de la première cause. Dans le premier cas, qui se produira lorsque ce coefficient sera grand par rapport à l'inertie de l'élément, le phénomène ne pourra présenter plus d'un maximum ou minimum, à partir duquel il évoluera constamment dans un même sens et tendra à s'éteindre. Dans le second cas, qui aura lieu lorsque l'inertie spécifique de l'élément sera très grande par rapport au coefficient de la première cause, le phénomène sera oscillant et périodique, avec les oscillations amorties dont les amplitudes successives décroîtront en progression géométrique.

SEPTIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à un élément dûs à l'action superposée de causes prévues par le sixième schéma et d'une nouvelle cause périodique.* Si la cause périodique est simple et régulière (d'intensité variant sinusoïdalement, à la manière des élongations d'un pendule simple) le phénomène, en passant d'abord par une phase instable, finit, au bout d'un temps suffisamment long, par atteindre un régime définitif et stable où il devient périodique et régulier. Dans le régime définitif, il s'établit une sorte de *synchronisation* des oscillations du phénomène avec celles de la cause périodique : le phénomène finit par adopter la période de la cause. Lorsque la cause périodique est irrégulière, le phénomène sera la superposition de plusieurs phénomènes oscillants : 1° l'un s'éteignant rapidement, ayant la même période qu'aurait le phénomène résultant si la cause périodique n'agissait pas ; 2° les autres, en nombre limité ou illimité, ayant pour périodes les parties aliquotes d'une même période, jouant le rôle d'*harmoniques* du phénomène résultant. L'influence des harmoniques devient de plus en plus faible à mesure que leur rang s'élève ; leurs amplitudes deviennent de plus en plus insensibles et le régime définitif stable du phé-

nomène se réduira sensiblement à un petit nombre d'harmoniques des rangs les moins élevés. On démontre également qu'au point de vue du résultat final de leurs actions, une cause périodique irrégulière très faible, ainsi qu'une cause instantanée à intermittences régulières, équivalent à une certaine cause périodique simple et régulière.

HUITIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à n éléments descriptifs dus à un assemblage de n causes variables impulsives dont chacune aurait pour objet direct un élément du système, avec $n - 1$ liaisons fixes entre ces éléments leur imposant la simultanéité de croissance.* Le point figuratif du phénomène se déplacera sur une trajectoire fixe dans son espace à n dimensions, la forme de la trajectoire ne dépendant nullement de la nature des causes en jeu. Ces dernières détermineront seulement le mode de mouvement du point figuratif le long de la trajectoire ; ce mouvement est constamment progressif, c'est-à-dire s'effectue dans le sens de croissance de chaque élément.

Dans le cas où les causes faiblissent progressivement au fur et à mesure qu'elles produisent leurs effets, en s'évanouissant lorsque l'effet a atteint une grandeur finie déterminée, le point figuratif approchera de plus en plus lentement d'un point fixe de la trajectoire, celui ayant pour coordonnées ces grandeurs limites des effets. Chaque élément croîtra au cours du phénomène, mais de plus en plus lentement, en tendant asymptotiquement vers une grandeur qu'il ne dépassera pas. Le phénomène lui-même tendra progressivement, de plus en plus lentement, vers un régime stationnaire duquel il ne sortira plus.

NEUVIÈME SCHÉMA. — *Perturbations introduites par un assemblage de causes directes périodiques et faibles dans un phénomène déjà existant et qui consisterait en faibles*

ALLURE ET MÉCANISME

oscillations périodiques du système descriptif autour d'un état d'équilibre stable. Deux cas peuvent se présenter :

1^o Lorsque la période d'aucune cause perturbatrice ne coïncide avec la période des oscillations primitives du système, le phénomène résultant consistera dans la superposition des oscillations primitives et d'une autre espèce d'oscillations périodiques dûes à ces causes, ayant chacune la même période que la cause perturbatrice qui l'a imposé, et une amplitude invariable au cours du phénomène, mais d'autant plus considérable que la période des oscillations primitives différera moins de la période de cette cause. Dans le cas où la différence des deux périodes est très petite, cette amplitude est très grande.

2^o Lorsque la période d'une ou de plusieurs parmi les causes perturbatrices coïncide avec celle des oscillations primitives du système, le phénomène résultant sera encore la superposition : *a)* des oscillations primitives ; *b)* des oscillations périodiques dûes à celles parmi les causes perturbatrices qui ont une période distincte de celle des oscillations primitives et dont l'amplitude est invariable au cours du phénomène ; *c)* des oscillations périodiques dûes aux causes perturbatrices ayant comme période celle des oscillations primitives et dont l'amplitude varie au cours du phénomène en devenant de plus en plus grande, et cela en raison directe du temps.

DIXIÈME SCHÉMA. — *Mécanismes intermédiaires entre deux mécanismes limites.* Soient donnés trois phénomènes P_1 , P_2 et P ayant même système descriptif, dont les mécanismes respectifs m_1 , m_2 et m ne diffèrent entre eux que par un ensemble déterminé de causes directes ou indirectes durables ou instantanées, et cela de manière que, tout le reste des mécanismes étant le même pour les trois phénomènes, une cause $C_{1,2}$ faisant partie

du mécanisme m_1 , se trouve dans m_2 , remplacée par une cause $C_{2,i}$ et dans m par une cause C_i , un tel remplacement pouvant être étendu à un nombre quelconque de causes. Le mécanisme m est à considérer comme *intermédiaire* entre les mécanismes m_1 , et m_2 , toutes les fois que la cause C_i est *plus forte* que l'une des causes $C_{1,i}$, $C_{2,i}$ et *plus faible* que l'autre.

Or, toutes les fois que le mécanisme d'un phénomène P est intermédiaire, au sens précédent, entre ceux de deux phénomènes considérés P_1 et P_2 , l'allure du phénomène P est aussi intermédiaire entre les allures de ces deux phénomènes, en ce sens que la courbe du diagramme, indiquant le mode de variation de chacun des éléments descriptifs de P au cours du phénomène, est constamment comprise entre celles des deux diagrammes du même élément dans les phénomènes P_1 et P_2 .

En particulier, toutes les fois que dans un phénomène, dû à un assemblage de causes directes, l'intensité de chaque cause est comprise entre deux grandeurs m et n fixes, la courbe du diagramme de chaque élément est constamment comprise entre deux droites fixes; ces droites se coupent sous un angle d'autant plus petit, et par suite les limites entre lesquelles l'élément varie seront d'autant plus resserrées que les grandeurs m et n sont plus rapprochées l'une de l'autre et que l'inertie de l'élément est plus considérable.

Considérons encore un cas intuitif des mécanismes intermédiaires qui se prête à des applications intéressantes. Soient

(A)	$A_1, A_2, A_3 \dots$
(B)	$B_1, B_2, B_3 \dots$
(C)	$C_1, C_2, C_3 \dots$

ALLURE ET MÉCANISME

plusieurs séries de causes directes ou indirectes, persistantes ou instantanées, chaque série étant rangée suivant l'ordre des grandeurs croissantes des intensités des causes qui la composent, dans l'action individuelle de chacune d'elles sur un même élément x , ces actions étant exercées dans un même ensemble de circonstances. Supposons, de plus, que, lorsque plusieurs parmi ces causes agissent simultanément sur l'élément x , leur ensemble fait imprimer à cet élément une variation égale à la superposition des variations qu'elles auraient imposé individuellement. Considérons alors trois mécanismes m_1, m, m_2 ayant pour conséquent le changement de l'élément x et ne différant entre eux que par quelques-unes des causes A, B, C... en ce sens qu'une cause A_i de la série (A), faisant partie du mécanisme m , peut se trouver remplacée par une autre cause A_i , de la même série dans le mécanisme m_1 et par une cause A_i'' de la même série dans le mécanisme m_2 , et qu'un fait semblable puisse avoir lieu aussi pour les causes de la série (B), (C)... les indices respectifs de celles-ci étant désignés par j, k ... Alors : si l'on a à la fois

$$i' \leq i \leq i'' \quad j' \leq j \leq j'' \quad k' \leq k \leq k''$$

le mécanisme m est à considérer comme *intermédiaire* entre les mécanismes m_1 et m_2 , et il y a lieu de lui appliquer les conclusions qui s'y rattachent.

ONZIÈME SCHÉMA. — *Influence des causes indirectes imprimant le renforcement ou l'affaiblissement aux causes directes d'un phénomène déjà existant.* Tout ce qui impose le renforcement d'une cause directe impulsive, ou l'affaiblissement d'une cause directe dépressive dans un phénomène, marque son influence sur la marche de celui-ci, soit par le renforcement de la croissance, soit par le ralentissement de la décroissance des éléments des-

criptifs du phénomène. Inversement, tout ce qui impose l'affaiblissement d'une cause directe impulsive ou le renforcement d'une cause directe dépressive, marque son influence, soit par le ralentissement de la croissance, soit par le renforcement de la décroissance des éléments.

Ainsi, si au cours d'un phénomène à un élément descriptif, dans lequel l'assemblage (E_1) de causes directes impulsives est plus fort que l'assemblage (E_2) de causes directes dépressives, apparaît une cause secondaire tendant à renforcer (E_2) de causes directes dépressives, apparaît une cause secondaire tendant à renforcer (E_2) ou à affaiblir (E_1), l'élément commencera par croître, mais de plus en plus lentement; à l'instant où (E_1) et (E_2) s'égalisent en intensité, il atteindra son maximum, après lequel il se mettra à décroître de plus en plus rapidement. Inversement, si (E_1) étant plus faible que (E_2), la cause secondaire tend à affaiblir (E_2) ou à renforcer (E_1), l'élément commencera par décroître, mais de plus en plus lentement; à l'instant où (E_1) et (E_2) s'égalisent, il atteindra son minimum après lequel il se mettra à croître de plus en plus rapidement. Telle serait, par exemple, l'influence d'une cause secondaire faisant changer le coefficient d'activité d'une cause directe dans un phénomène considéré.

Le schéma suivant résumerait les influences de causes indirectes de toutes espèces exercées au cours d'un phénomène déjà existant. Soit X_1 l'assemblage de causes impulsives, X_2 l'assemblage de causes dépressives directes du phénomène. Un assemblage C de causes indirectes (causes secondaires, perturbatrices, facteurs influents, etc...) peut exercer : 1° une influence C_1 sur l'assemblage X_1 ; 2° une influence C_2 sur l'assemblage X_2 . Chacune de ces deux influences peut être renforçante,

affaiblissante ou insensible par rapport à X_1 et X_2 ; leur sens sera indiqué par le signe de C_1 et C_2 , le signe 0 (zéro) correspondant au cas où l'influence est insensible. Ces influences se prêtent alors à neuf combinaisons possibles suivantes :

Combinaison des actions C_1 et C_2	Caractère de la combinaison		Influence résultante sur le cours du phénomène
	Par rapport à C_1	Par rapport à C_2	
$+ C_1 - C_2$	impulsive	dépressive	renforçante
$- C_1 + C_2$	dépressive	impulsive	affaiblissante
$+ C_1 + C_2$	impulsive	impulsive	incertaine
$- C_1 - C_2$	dépressive	dépressive	incertaine
$+ C_1 + 0$	impulsive	insensible	légèrement renforçante
$- C_1 + 0$	dépressive	insensible	légèrement affaiblissante
$0 - C_2$	insensible	dépressive	légèrement renforçante
$0 + C_2$	insensible	impulsive	légèrement affaiblissanté
$0 + 0$	insensible	insensible	nulle

Les données qualitatives ou quantitatives (par exemple empiriques) sur les grandeurs relatives C_1 et C_2 ou sur le mode de leurs variations au cours du phénomène conduiraient à des connaissances plus précises sur l'allure du phénomène et permettraient la prévision de diverses autres particularités de cette allure.

DOUZIÈME SCHÉMA. — *Influence des causes indirectes faisant changer l'inertie spécifique du phénomène.* A égalité des causes, les variations d'un élément sont d'autant plus lentes que son inertie spécifique est plus considérable. Par suite, tout ce qui, n'influant pas sur les causes directes du phénomène, tend à faire changer l'inertie spécifique d'un élément descriptif de celui-ci,

aura son influence sur la marche du phénomène marquée :

1° par le ralentissement de la croissance ou le renforcement de la décroissance de l'élément dans le cas où il y a une tendance au renforcement de l'inertie spécifique de celui-ci ;

2° par le renforcement de la croissance ou le ralentissement de la décroissance de l'élément lorsqu'il y a une tendance à l'affaiblissement de cette inertie.

TREIZIÈME SCHÉMA. -- *Influence exercée sur la marche d'un phénomène oscillatoire par une cause dépressive, directe ou indirecte, grandissant ou s'affaiblissant en même temps que l'élément descriptif du phénomène.* L'influence consiste toujours dans l'amortissement des oscillations, c'est-à-dire dans le fait que les amplitudes deviennent au cours du phénomène de plus en plus petites et finissent, au bout d'un temps suffisamment long, par devenir insensibles.

Dans le cas plus particulier où la cause dépressive varie en raison directe de l'élément, l'amortissement est d'autant plus rapide que le coefficient d'activité de cette cause est plus considérable et l'inertie spécifique de l'élément plus faible. Tout ce qui tend à faire changer l'un ou l'autre de ces deux facteurs, aura son influence sur la marche du phénomène marquée :

1° par l'augmentation de la vitesse avec laquelle les oscillations s'amortissent au cours du temps, dans le cas où il y a une tendance à diminuer l'inertie spécifique ou à augmenter le coefficient d'activité de la cause dépressive ;

2° par la diminution de la vitesse d'amortissement dans le cas où il y a une tendance à augmenter l'inertie spécifique ou à diminuer le coefficient d'activité de la cause.

QUATORZIÈME SCHÉMA. — *Perturbations introduites au cours d'un phénomène déjà existant par l'intervention de causes instantanées ou intermittentes.* Dans le cas d'une cause instantanée tendant par son impulsion à troubler le cours naturel d'un phénomène, suivant l'instant où la cause apparaît, ou plus précisément, suivant qu'à cet instant, le sens de variation de l'élément descriptif coïncide avec le sens de l'impulsion, ou bien lui est contraire, et surtout suivant que l'inertie de l'élément à cet instant est faible ou considérable, l'effet de l'impulsion sera très sensible ou bien insensible, avec toutes les gradations entre ces deux limites. Il en sera de même de toute la suite intermittente d'impulsions successives pareilles.

Lorsque le phénomène, dans son cours naturel, est oscillant, le diagramme représentant l'effet de la suite intermittente de cause peut affecter les formes les plus variées, suivant la manière dont changent l'intensité et le sens des nouvelles causes, égales ou inégales entre elles et suivant les instants où elles apparaissent. Dans les cas particuliers où les causes sont de sens toujours contraire à la vitesse de variation de l'élément à l'instant où elles apparaissent, et d'autant plus intenses que cette vitesse est plus considérable, le diagramme de leur effet se réduira à une courbe oscillante à oscillations très amorties, dont un nombre très restreint sera sensible : les impulsions étant convenablement réglées, le diagramme se réduira à une courbe présentant une seule oscillation après laquelle elle se confondra sensiblement avec l'axe des temps.

QUINZIÈME SCHÉMA. — *Phénomènes à deux éléments descriptifs indépendants u_1 et u_2 variant simultanément sous l'action de deux causes, l'une x_1 affectée d'une tendance à faire varier à la fois tous les deux éléments dans le même sens dans lequel elle varie elle-même, et l'autre x_2*

ayant une tendance à faire varier l'élément u_1 , dans le même sens dans lequel elle varie elle-même, et l'élément u_2 dans le sens contraire. Le phénomène aura des allures différentes suivant les grandeurs relatives des intensités des causes x_1 et x_2 . En particulier :

1° Toutes les fois que, la cause x_1 restant normale, la cause x_2 subit un affaiblissement, l'élément u_1 décroîtra et u_2 croîtra ;

2° Toutes les fois que, la cause x_2 restant normale, la cause x_1 subit un renforcement, les éléments u_1 et u_2 croîtront tous les deux à la fois ;

3° Toutes les fois que, la cause x_2 restant normale, la cause x_1 subit un affaiblissement, les éléments u_1 et u_2 décroîtront tous les deux à la fois.

4° Toutes les fois que, la cause x_1 restant normale, la cause x_2 subit un renforcement u_1 croîtra et u_2 décroîtra.

Les faits réciproques subsistent également sous la forme suivante :

a) La croissance simultanée des éléments u_1 et u_2 indique infailliblement le renforcement de la cause x_1 ;

b) La décroissance simultanée de u_1 et u_2 indique l'affaiblissement de la cause x_1 ;

c) La croissance de u_1 et la décroissance simultanée de u_2 indiquent le renforcement de la cause x_2 ;

d) La décroissance de u_1 et la croissance simultanée de u_2 indiquent l'affaiblissement de la cause x_2 .

III. — ALLURE DU PHÉNOMÈNE, CONSIDÉRÉE
COMME INDICE DE SON MÉCANISME

Réciprocité incertaine entre le mécanisme et les particularités d'allure.

— Des indications supplémentaires peuvent la rendre certaine. — Divers types de mécanismes fournissent autant d'hypothèses pour l'explication de l'allure d'un phénomène. — Certaines particularités d'allure suggèrent certains types de mécanismes. — Mécanismes suggérés par la comparaison de diagrammes d'allures.

Un type déterminé de mécanisme impliquant un ensemble déterminé de particularités d'allure, le fait réciproque subsiste-t-il également ? Un type déterminé de mécanisme correspond-il invariablement à une allure déterminée ? Les particularités déterminées d'allure impliquent-elles nécessairement des types déterminés de rôles ?

La réponse, du moins dans le cas général, est négative. Une même allure peut se trouver rattachée à la fois à divers types de mécanismes ; diverses combinaisons de rôles peuvent engendrer un même ensemble de particularités d'allure. Un même mouvement, par exemple, peut être engendré par des forces à diverses lois d'intensité ; des forces à lois variées peuvent imposer les mêmes particularités au mode de changement de vitesse du mobile, à sa trajectoire, etc. Les particularités déterminées d'allure, si caractéristiques qu'elles puissent être en elles-mêmes, comme : le caractère oscillant, la périodicité, l'amortissement des oscillations, l'existence d'un régime asymptotique, etc. peuvent être engendrées d'une foule de manières, par une foule de mécanismes et par divers types de rôles. La raison de cette indétermination réside dans le fait analytique que diverses équations

différentielles, ou systèmes d'équations, peuvent admettre les mêmes intégrales particulières. Et l'indétermination est d'autant plus grande que le phénomène est plus complexe et que les particularités d'allure considérées sont moins précises.

Il arrive, cependant, que des indications supplémentaires peuvent y introduire une détermination qui pourra devenir si complète que le choix de mécanismes possibles ou de rôles particuliers, auquel serait dû le phénomène ou l'ensemble considéré de ses particularités, devient très limité, se réduisant parfois à une seule combinaison possible. Les forces à diverses lois d'intensité, par exemple, ne dépendant que de la position du mobile, peuvent imposer à celui-ci le mouvement dans un même plan pour des conditions initiales arbitraires ; si l'on y ajoute la condition supplémentaire que la trajectoire y soit toujours une courbe fermée et que la vitesse du mobile ne dépasse jamais une limite fixe finie au cours du mouvement, la force ne saurait être que centrale et proportionnelle, soit à la distance du mobile au centre, soit à l'inverse du carré de cette distance. (J. Bertrand). Une foule de types de mécanismes peuvent engendrer un phénomène périodique, pouvant, par exemple, être dû à une cause variant en raison directe de la totalité de son effet ; s'il y a des raisons particulières, des indications spéciales pour rattacher le phénomène à tel ou tel fait périodique existant, ayant la même période que le phénomène considéré lui-même, la question de mécanisme se trouverait tranchée par cela même, une cause périodique représentant également un des types de rôles à effet périodique.

Dans un grand nombre de cas, les divers types de mécanismes possibles fournissent du moins autant d'hypothèses possibles pour l'explication du phénomène

LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS

qu'on a en vue et dont on connaît certaines particularités d'allure.

Le diagramme rectiligne d'un phénomène, par exemple, indiquerait la possibilité d'un type de mécanisme simple comportant une cause directe d'intensité invariable, impulsive ou dépressive suivant que le diagramme représente une ligne montante ou descendante. Le diagramme ayant la forme d'une courbe exponentielle simple descendante indiquerait la possibilité d'une cause dépressive qui se dépense à mesure qu'elle effectue son action. La courbe ascendante ayant une asymptote parallèle à l'axe des temps indiquerait la possibilité d'une cause impulsive, faiblissant à mesure que le phénomène s'approche de son régime asymptotique final. Les phénomènes oscillatoires amortis, consistant dans les oscillations de leurs éléments autour d'un état final duquel ils se rapprochent et s'éloignent alternativement par une suite d'oscillations devenant de moins en moins sensibles, présentent un intérêt tout particulier à ce point de vue. De tels phénomènes peuvent résulter, par exemple, d'un quelconque des types suivants :

1° De l'action d'une cause directe, impulsive ou dépressive, à variations indépendantes, ces variations étant elles-mêmes oscillantes et progressivement amorties ;

2° De l'action simultanée de deux espèces de causes directes toutes dépressives : les unes variant en raison directe de leur effet, les autres en raison directe de la totalité de l'effet ;

3° De l'action simultanée de deux causes antagonistes entre elles : l'une impulsive et d'intensité invariable, l'autre dépressive et à action retardée, variant en raison directe de l'effet correspondant à une époque antérieure ;

4° De l'action simultanée de deux causes dépressives :

l'une proportionnelle au carré de l'effet, l'autre proportionnelle à la totalité de cet effet.

Chacun de ces types de mécanismes fournirait une hypothèse admissible au point de vue des liens généraux entre l'allure et le mécanisme pour l'explication du phénomène.

Et d'une manière générale, certaines particularités d'allure peuvent s'expliquer par des mécanismes communs à un grand nombre de phénomènes divers, schématisés par des types généraux de la forme de ceux qui précèdent. Une telle explication pourra, d'ailleurs, représenter la vérité elle-même ou être seulement admissible au point de vue phénoménologique général : ce sera à l'observation ou à l'expérience qu'il appartiendra de choisir, parmi les schémas possibles, celui qui rendra compte du plus grand nombre de faits rattachés au phénomène considéré. C'est ainsi qu'on cherchera à mettre en évidence telle ou telle action destructrice prévue par tel ou tel schéma, à découvrir les conditions qui lui font prendre naissance ; à démontrer l'existence de résistances au cours du phénomène variant suivant les lois prévues, ou à mettre en évidence des faits rendant impossible une telle explication. C'est ainsi qu'en essayant de faire rentrer le phénomène des oscillations rapidement amorties du noircissement de la couche sensible de la plaque photographique dans notre cinquième schéma de ce chapitre, on trouve la cause impulsive invariable, prévue dans ce schéma, dans la tendance constante de la lumière à modifier le sel d'argent, et la cause dépressive retardée dans la réaction de cette couche, qui produit, avec un certain retard, une modification inverse de celle dûe à la lumière. Dans le phénomène de la circulation du sang, on trouve la cause impulsive dans la force impulsive du cœur et la résistance dans l'action modé-

LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS

ratrice des petits vaisseaux contractiles. Dans le phénomène de l'émanation du parfum par les fleurs odorantes, la cause impulsive est la pression de l'eau dans les cellules, et la cause dépressive est l'action de la lumière. Dans une maladie microbienne, la cause impulsive est la virulence des microbes pathogènes et la cause dépressive la fonction phagocytaire, etc.

De même, il arrive que certaines indications infirment tel ou tel mécanisme possible ou augmentent sa probabilité. Ainsi, si dans un phénomène oscillant amorti, on constate que les amplitudes consécutives croissent en progression *arithmétique*, le phénomène ne rentre certainement pas dans le schéma 2° de tout-à-l'heure caractérisé par la croissance des amplitudes en progression *géométrique* ; il peut très bien se faire, par contre qu'il appartienne au schéma 4° caractérisé justement par la particularité citée.

De semblables recherches seraient expérimentales, ou du moins fondées sur une étude plus approfondie de particularités du phénomène et de ses relations avec d'autres phénomènes, où les schémas pareils aux précédents n'auraient plus rien à faire (expérience de la bande noire de Charpentier, mettant en évidence la réaction rétinienne et son rôle dans le phénomène des ondulations de l'excitabilité rétinienne ; expérience du bruit musculaire de Helmholtz, mettant en évidence les impulsions cérébrales intermittentes, à période de $\frac{1}{20}$ de seconde, et leur rôle dans le phénomène de la tétanisation volontaire des muscles ; étude plus approfondie mettant en évidence telle ou telle particularité de la fonction phagocytaire des cellules de telle ou telle espèce, prévu par un schéma considéré, etc.) Mais ce seront certainement de tels schémas généraux qui, dans un gra

nombre de cas, suggèreront l'idée de telles recherches et qui mériteront par suite d'être pris en considération si ces recherches aboutissent à quelque conclusion intéressante.

La comparaison de diagrammes simultanés de plusieurs phénomènes peut aussi conduire à découvrir des rapports entre les phénomènes. Un procédé vulgaire, employé couramment, consisterait à regarder si les courbes respectives laissent discerner, à travers les irrégularités qu'elles peuvent présenter, des particularités communes significatives, comme : croissances et décroissances simultanées, passages simultanés par les maxima ou minima, croissance ou décroissance simultanée des grandeurs mêmes de ces maxima ou minima, etc. Un grand nombre de courbes statistiques dénotent ainsi une concordance plus ou moins grande des particularités d'allure des phénomènes disparates auxquels elles se rattachent et rendent possible, ou même probable, un lien de causalité entre de tels phénomènes. Par exemple, les courbes de l'étendue des taches solaires et de l'abondance des récoltes de l'agriculture dans certains pays ont mis en évidence la périodicité concordante des deux phénomènes et rendu probable le fait que le premier phénomène est une des causes déterminantes de l'autre. La concordance des particularités constatée sur les deux courbes d'allure, celle de la température du printemps à un endroit déterminé, et celle de l'étendue des taches solaires mesurées avec précision par la photographie et exprimées en millions de l'hémisphère solaire visible, fournit également un exemple de cette espèce.

Un tel procédé vulgaire ne serait qu'un cas spécial, très simple et très intuitif, des procédés plus complexes, moins intuitifs, qui seraient fournis par des schémas pa-

LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS

reils aux précédents. Comment s'y prendrait-on, par exemple, dans les cas où le phénomène résulte d'un grand nombre de causes périodiques inconnues, irrégulières, C_1, C_2, C_3, \dots , d'effets individuels enchevêtrés les uns dans les autres, pour déceler et séparer l'effet propre d'une très faible cause C périodique, ou intermittente ; les intermittences équidistantes, cet effet étant masqué et rendu presque insensible par ceux d'autres causes multiples beaucoup plus intenses et par des perturbations irrégulières de toutes sortes ? Un schéma phénoménologique en fournirait le procédé suivant :

On divise le diagramme du phénomène correspondant à un intervalle du temps très long, en sections dont chacune correspond à la longueur d'une période de la cause C . Après avoir découpé ces sections, on les superpose l'une à l'autre de manière que les axes des temps s'y superposent exactement en direction et en longueur. On construit pour chaque abscisse la moyenne arithmétique des ordonnées correspondantes superposées : la courbe joignant les extrémités de telles ordonnées moyennes sera le diagramme des variations qui sont l'effet propre de la cause C , et cela avec une précision d'autant plus grande que la valeur numérique du rapport de l'intervalle du temps, auquel correspond le diagramme primitif, à la longueur de la période de la cause C , est plus grande. En effet, dans chaque section, l'action de la cause C s'effectue d'une même façon : la croissance, la décroissance, les maxima et les minima correspondent aux mêmes points des diagrammes superposés ; par contre les actions des autres causes, des périodes différant de la période de C , s'effectueront tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, en vertu de la périodicité même de causes ; ces irrégularités, en vertu de la loi des grands nombres, tendent à disparaître dans le diagramme de

valeurs moyennes des ordonnées des sections superposées qui ne représenteront plus ce qui est à attribuer à l'action propre de la cause C.

Un grand nombre de causes naturelles rentrent dans le cas de la cause C et l'on peut en séparer les effets individuels par des procédés pareils au précédent. Tel serait, par exemple, le cas déjà étudié par le procédé ci-dessus indiqué, des influences très faibles exercées sur la déformation de l'écorce terrestre par la force attractive de la lune. Une foule de causes physiologiques y rentre également et l'on conçoit les services que pourrait rendre un pareil schéma appliqué aux diagrammes de phénomènes physiologiques obtenus par les appareils enregistreurs ou construits empiriquement, point par point, d'après les mesures directes ou indirectes des grandeurs des éléments caractéristiques du phénomène.

La comparaison de formes géométriques et de la distribution dans le champ où le phénomène se passe, de certaines courbes et surfaces auxquelles on pourrait être conduit à attribuer le rôle des lignes de force ou des surfaces équipotentielles pour les causes mises en jeu dans le mécanisme du phénomène, peuvent ainsi fournir des indications précieuses sur ce mécanisme et conduire à essayer telle et telle hypothèse pour l'explication du phénomène. Ces deux facteurs géométriques, en effet, caractérisent les types déterminés de causes et peuvent indiquer la possibilité d'un tel type dans un cas considéré. Ainsi, les images formées par la distribution de limailles de fer dans un champ magnétique, concordant avec celles caractérisant la distribution des lignes de force dans le champ d'une force centrale variant en raison inverse du carré de distance, seraient déjà une indication du fait que les forces magnétiques en jeu sont des

LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS

forces d'une telle espèce. Les formes des courbes apparaissant dans les coupes des différentes parties d'une plante (coupe d'une racine, d'un tronc, d'un grain indiquant les distributions des cellules correspondant une même époque de croissance de la plante, présentant aussi les formes des lignes de force et des sections des surfaces équipotentiels caractéristiques des champs des forces centrales indiqueraient la participation de telles forces dans le développement des champs cellulaires au cours de la croissance de la plante.

Une foule d'indications de cette sorte seraient fournies par divers schémas phénoménologiques; les services qu'on pourra en attendre dans les cas plus complexes se laissent entrevoir d'après ceux qui sont indiqués au cours de ce chapitre pour des cas les plus simples.

CHAPITRE IV

RÉPARTITION DES ROLES ET MANIFESTATION EXTÉRIEURE DES PARTICULARITÉS D'ALLURE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

I. — RÉPARTITION DES ROLES

Formes variées sous lesquelles apparaissent extérieurement les divers types de rôles. — Type de rôle particulièrement important ; cause à la loi quantitative connue ; détermination effective de la loi de cause pour diverses causes intervenant dans les phénomènes naturels. — Autre type de rôle important : cause à particularités qualitatives de variation connues ; diverses particularités d'ordre qualitatif rattachées à la loi de cause. — On peut connaître de telles particularités dans les phénomènes de toutes espèces et de toutes natures concrètes.

Les types de mécanismes et les particularités d'allure qu'ils impliquent revêtent des formes spécifiques infiniment variées dans le domaine prodigieusement vaste des phénomènes naturels qui en sont la manifestation extérieure. D'une part, les rôles de même espèce faisant partie d'un type déterminé de mécanismes peuvent se trouver répartis parmi des éléments et des faits concrets infiniment variés, de toute nature et de toute espèce. D'autre part, les particularités d'allure de même espèce, impliquées dans un type de mécanismes, peuvent

revêtir une immense variété de formes spécifiques concrètes suivant la nature du phénomène par lequel elle se traduisent extérieurement.

C'est à l'étude des problèmes spécifiques des diverses branches des sciences que se ramène la question de la répartition des rôles dans le mécanisme du phénomène. Ces problèmes sont résolus, dans les cas spécifiques considérés, par des observations directes, superficielles ou plus pénétrantes ; par des expériences, par des analogies avec des cas déjà connus à ce point de vue, par des hypothèses se trouvant confirmées par les faits, etc.

La cause impulsive, alors, apparaît, par exemple tantôt sous la forme de force attractive des particules matérielles, tantôt comme force transformatrice dans les réactions chimiques, tantôt comme force destructrice des bacilles dans une maladie microbienne, tantôt comme force impulsive du cœur, comme force motrice des idées, comme tendance impulsive politique, etc.

La cause dépressive se retrouve, de même, comme pesanteur dans un mouvement ascendant ; comme tendance de la lumière à diminuer la pression de l'eau dans les cellules des plantes ; comme fonction phagocytaire des microphages ou des macrophages au cours du progrès d'une maladie ; comme action dépressive de certains états affectifs entravant ou paralysant l'action des forces motrices des idées, etc.

La cause réactive, tantôt comme force électromotrice de l'induction, tantôt comme réaction de la rétine provoquée par les excitations lumineuses, tantôt représentée par diverses réactions sociales, etc.

Le rôle d'inertie se retrouve, tantôt dans l'inertie mécanique dans les mouvements de translation, [tantôt dans la force centrifuge dans les mouvements de rotation, tantôt dans diverses forces électromagnétiques

dans les phénomènes électriques, tantôt dans la force de l'habitude dans les phénomènes sociaux, etc.

Le rôle excitateur (provocateur) est joué, tantôt par l'établissement d'un contact électrique provoquant une réaction chimique intense, tantôt par l'étincelle provoquant une explosion, tantôt par des incidents insignifiants déclanchant des événements importants, etc.

Le rôle régulateur est joué, tantôt par le thermostat régularisant la température, tantôt par les bulles gazeuses à la surface de certains organismes aquatiques dans la régularisation de leur respiration, tantôt par les sels minéraux dans la régularisation de la pression osmotique dans l'organisme, tantôt dans l'action régulatrice de l'offre et de la demande dans la marche des affaires commerciales, etc.

Le rôle coordinatif se manifeste comme rôle du champ magnétique dans l'orientation de limailles de fer, comme pouvoir coordinatif dans les actes volontaires, comme discipline dans l'armée, comme rôle rattaché à diverses institutions sociales, etc.

Il en est de même pour tous les types, simples ou complexes, de rôles. Cependant, un type particulièrement important, qui se retrouve dans la plupart des types de mécanismes des phénomènes naturels, est celui de *cause à loi d'intensité déterminée caractérisant le type*, ou, d'une manière plus générale, celui de cause dont la loi d'intensité, connue ou inconnue, est *affectée des particularités quantitatives ou qualitatives déterminées caractérisant le type*. Le plus souvent c'est un tel type de rôles qui détermine les particularités caractéristiques de l'allure du phénomène, comme on a pu s'en rendre compte par ce qui précède. En tous cas, c'est à la forme d'une telle loi d'intensité et à ses diverses particularités qualitatives que se rattachent étroitement les caractères

essentiels de l'allure. Pour cette raison, nous nous arrêterons particulièrement sur ce rôle important afin de fournir quelques détails sur les formes des lois et des particularités en question dans le monde des phénomènes naturels.

A) Causes à loi quantitative connue.

Dans un certain nombre de cas, la loi est évidente d'elle-même et ne nécessite pas de recherches plus approfondies. Ainsi, l'activité collective d'un ensemble de porteurs d'activités égales et de même sens varie en raison directe du nombre des porteurs. La force électromotrice d'une batterie électrique, dans le couplage en série de piles identiques, varie en raison directe du nombre des piles ; l'intensité de la force transformatrice réglant dans les réactions chimiques monomoléculaires la vitesse de réaction varie, au cours de celle-ci, en raison directe de la quantité restante du corps qui se transforme ; le pouvoir destructif d'un groupe de bactéries de même espèce varie en raison directe du nombre de bactéries ; un grand nombre d'activités collectives d'un complexus social homogène varient en raison directe du nombre des individus faisant partie du complexus, etc.

Le nombre des porteurs peut rester invariable au cours du phénomène ; il peut, dans d'autres cas, varier suivant une loi explicite déterminée. Dans certains phénomènes, une telle loi est indépendante des particularités d'allure du phénomène, n'étant pas subordonnée aux changements qui se produisent au cours de celui-ci. Tel serait le cas de l'activité de bactéries se reproduisant par scissiparité ou simple division. Dans le cas de diplobacilles ou diplocoques la scissiparité s'opère de sorte que les éléments soient disposés deux-à-deux. Chez certains

cocci, la division peut s'opérer suivant deux diamètres perpendiculaires l'un à l'autre, en formant ainsi des Tétrades. Quand elle s'opère suivant trois plans perpendiculaires dans trois directions différentes, on assiste à la formation de sarcines, masses cubiques de cocci. La segmentation est d'autant plus rapide que la nutrition est meilleure. Lorsqu'elle s'effectue, les bactéries se multiplient suivant une *progression géométrique* et l'intensité du pouvoir destructif de l'ensemble varie au cours du temps suivant une *loi exponentielle rapidement croissante*. La vitesse d'une telle multiplication est extraordinaire. Le mode de multiplication par division transversale permet aux deux individus, provenant de la segmentation d'une certaine bactérie, d'atteindre au bout de deux heures des dimensions de la cellule-mère et d'être en état de proliférer à leur tour. En trois jours, les descendants d'un seul individu seraient, si rien ne venait entraver leur multiplication, au nombre 4772 billions (Duclaux). Lorsqu'une maladie microbienne est due à l'action d'un groupe de bactéries combattu par un groupe antagoniste, les deux groupes étant supposés se multiplier par scissiparité avec des vitesses de multiplication égales ou inégales, on aura une cause active égale à l'excès d'activité d'un groupe sur l'autre, impulsive ou dépressive suivant que cet excès sera positif ou négatif; l'excès lui-même sera représenté par la différence de valeurs des deux fonctions exponentielles croissantes.

Le nombre de porteurs d'activité collective peut devenir de plus en plus petit au fur et à mesure que cette activité s'affaiblit et s'épuise au cours du phénomène, le complexe de porteurs se détruisant lui-même progressivement en effectuant son action. Tel serait, par exemple, le cas de l'action destructrice de bacilles qui périraient

ALLURE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

au fur et à mesure que leur action s'accomplit, Tel serait également celui de la force transformatrice dans une réaction chimique monomoléculaire, où la quantité restante du corps transformable diminue au fur et à mesure que la réaction s'effectue, et avec elle diminue aussi la force transformatrice. On a là un cas de cause dépressive variant en raison directe de son effet, celui-ci étant, pour sa part, proportionnel à la quantité des porteurs de la cause.

Parmi les causes à loi évidente, on en peut citer un grand nombre dont l'action peut être assimilée à des émanations radiales partant d'un centre, source de la cause, de manière que toutes les sphères concentriques, ayant la source comme centre, reçoivent une même quantité d'émanations. Tel serait, par exemple, le cas de phénomènes centraux dûs à un son, à une radiation lumineuse, à une action thermique, à une odeur, à une secousse sismique, etc., provenant d'un centre et jouant le rôle de causes dans le phénomène considéré. De telles causes varieraient en raison inverse du carré de la distance à la source.

Un grand nombre de lois d'intensité de cause est mis en évidence par des faits empiriques, expérimentaux, statistiques, etc., soit comme expressions directes de tels faits, soit comme leurs conséquences directes ou analytiques. C'est, par exemple, le cas de la pesanteur au voisinage de la surface de la terre, cas pour lequel l'expérience élémentaire (chute verticale dans le vide, avec vitesse initiale nulle) démontre qu'il peut être assimilé à une cause d'intensité sensiblement constante pour un lieu déterminé, variant avec la latitude et l'altitude de celui-ci. C'est aussi le cas de la force de résistance au glissement, pour laquelle Coulomb a mis en évidence, par l'expérience, les lois approximatives con-

nues. L'expérience directe montre que la force de torsion d'un fil varie en raison directe de l'angle même de torsion ; on a ainsi une cause variant en raison directe de la totalité de son effet. Le même cas se présente dans la loi d'intensité de la force élastique provenant de l'allongement ou de la contraction d'un corps élastique, variant en raison directe de l'allongement ou de la contraction elle-même.

Les lois de certaines causes sont mises en évidence par des procédés purement analytiques, souvent par la forme des termes correspondants dans les équations différentielles régissant un phénomène et formées sans connaissance préalable des lois explicites de la cause inconnue envisagée. C'est, par exemple, ainsi que la connaissance des lois des composantes d'une force dans la direction de trois axes rectangulaires, produisant la rotation d'un corps solide autour d'un axe, conduisent par la forme des termes des équations différentielles régissant la rotation, à formuler la loi explicite de la composante ayant pour objet direct la vitesse angulaire du corps. C'est aussi d'une manière analogue que les équations de Maxwell, relatives aux courants induits dans les circuits électriques filiformes, mobiles ou déformables, mettent en évidence, par la forme de certains termes, la loi de la forme électro-magnétique et celle de la force électromotrice induite dans le phénomène, vérifiée ensuite par l'expérience. Les mêmes équations font ressortir le fait que c'est par ces deux forces que se traduisent les inerties dans le phénomène. C'est d'ailleurs un procédé d'un usage constant en Mécanique et en Physique mathématique.

Le plus souvent, c'est par des hypothèses, plus ou moins vraisemblables, d'après les faits constatés, ou d'après les analogies observées ou pressenties, que les

lois d'intensité de causes se sont laissées d'abord découvrir et ensuite vérifier par des conséquences concrètes, accessibles à l'observation directe ou indirecte ou aux mesures.

L'exemple classique d'un pareil mode de détermination de la loi de cause est fourni par la loi de gravitation universelle exprimant la proportionnalité inverse au carré des distances, vérifiée par les particularités des mouvements des corps célestes faisant partie du système solaire, comparées à celles des mouvements dûs à la pesanteur.

Si l'on admet l'hypothèse que la rotation d'un corps céleste autour de son axe engendre un champ magnétique, à côté de la marée gravitationnelle dans l'action réciproque du soleil, des planètes et de leurs satellites on doit présumer l'existence d'une marée électromagnétique : une grandeur électromagnétique, analogue au facteur déformant de la théorie des marées gravitationnelles, doit être proportionnelle au cube de la distance et varier périodiquement au cours du temps. Des tels facteurs déformants figureraient parmi les causes déterminantes de la périodicité de l'activité solaire.

La loi hypothétique dans une foule de phénomènes exponentiels, d'après laquelle l'intensité de la tendance modificatrice directement appliquée à l'élément descriptif du phénomène varie à chaque instant en raison directe de la grandeur même de cet élément, est vérifiée, du moins comme une première approximation, par ses conséquences directes accessibles aux mesures, en constatant que le rapport du temps et du logarithme de l'élément conserve une valeur constante pendant toute la durée du phénomène. Tel est le cas de la tendance modificatrice réglant la vitesse de diminution progressive de la température d'un corps lors de son re

froidissement dans un milieu tranquille, où cette tendance varie d'instant en instant en raison directe de la température du corps (loi de Newton). C'est aussi le cas de la tendance modificatrice réglant la vitesse de diminution progressive de la charge électrique sur la surface d'un liquide électrisé qui s'évapore : cette tendance varie d'instant en instant en raison directe de la charge électrique de la surface (loi de Pellat).

La loi hypothétique de la force réactive intramoléculaire, par laquelle s'expliquent certains phénomènes de fluorescence et d'après laquelle l'intensité de cette force varierait d'instant en instant en raison directe du carré de la vitesse moyenne des molécules, se trouverait, d'après Becquerel, confirmée par la vérification expérimentale de sa conséquence : à savoir que, les unités de mesure étant convenablement choisies, le produit de l'intensité de la lumière émise au cours de la phosphorescence en un instant quelconque, par le carré de l'intervalle du temps entre cet instant et celui où l'action directe extérieure de la lumière a cessé, conserve une valeur sensiblement constante pendant toute la durée du phénomène.

La tendance transformatrice chimique, réglant la vitesse des réactions homogènes polymoléculaires varierait, suivant une loi hypothétique, en raison directe du produit des concentrations du mélange, au sein duquel la réaction se passe, en corps actifs, en considérant comme mesure de la concentration en un corps actif, faisant partie du mélange, le poids de ce corps contenu dans l'unité de poids du mélange. La vérification de la loi consiste dans le fait, qui en résulte comme conséquence, qu'une certaine combinaison analytique explicite et en termes finis, des quantités de produits de la réaction formées depuis son commencement jusqu'à un

ALLURE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

instant considéré, et de l'intervalle du temps qui s'est écoulé jusqu'alors, conserve une valeur sensiblement constante pendant toute la durée de la réaction.

La loi de la tendance modificatrice en un point arbitraire d'un milieu, dans les phénomènes de propagation de la chaleur ou de l'électricité, d'après laquelle cette tendance, par exemple dans le cas des milieux homogènes, varie d'instant en instant, et de point en point du milieu, en raison directe de la divergence du champ scolaire au point considéré, est suggérée par l'hypothèse fondamentale de Fourier sur le mode de propagation des états semblables. L'hypothèse, et avec elle la loi de cause qu'elle implique, se trouvent vérifiées par leurs conséquences analytiques accessibles aux mesures.

B) Causes à particularités qualitatives connues.

La prévision des particularités d'allure du phénomène n'exige pas toujours, comme condition indispensable, la connaissance de la loi quantitative précise des intensités des causes en jeu. Comme le montrent les quelques schémas du chapitre précédent, certaines indications, quelquefois même assez vagues, touchant les particularités d'ordre qualitatif de la loi de cause, peuvent suffire à mettre en évidence et à faire saisir une foule de particularités significatives du phénomène. De semblables indications touchent le plus souvent :

1° Le *sens* de la cause, qui peut rester constamment impulsive, ou constamment dépressive, ou présenter des alternances de sens au cours du phénomène ;

2° Le *renforcement* ou l'*affaiblissement* de la cause dans une phase considérée du phénomène ;

3° L'*accélération* ou le *ralentissement* d'un tel renfor-

cement ou affaiblissement, ou bien les données sur les *vitesses relatives* dont se renforcent ou s'affaiblissent, au cours du phénomène, diverses causes en jeu dans son mécanisme ;

4° L'existence de *maxima* ou de *minima* d'intensité de la cause ;

5° Le caractère *continu, discontinu, persistant, intermittent, rythmique, oscillatoirement amorti* des variations de l'intensité de la cause ;

6° La *périodicité* de la cause ;

7° L'existence d'un *régime permanent asymptotique* de son intensité ;

8° Les *limites* de variations que l'intensité de la cause ne dépassera en aucun instant pendant la durée du phénomène ;

9° Les indications sur les *modifications individuelles* qu'imposerait, au cours du phénomène, la cause considérée si elle agissait seule, sans être gênée par d'autres causes en jeu dans le phénomène ;

10° La *symétrie* et diverses sortes de *dissymétrie* d'une cause rattachée à un champ où le phénomène se passe ;

11° Le *retard* que peut présenter l'action d'une cause par rapport à celles des autres mises en jeu.

Or, on peut avoir des indications pareilles dans des phénomènes de toutes espèces et de toutes natures concrètes. C'est ainsi que dans un grand nombre de phénomènes physiques, dûs à des causes appelées pouvoirs, capacités, réactions, influences, etc., de nature intime et à loi d'intensité mal connue, on a presque toujours des indications sur le sens et sur quelques caractères significatifs des causes.

Dans les phénomènes chimiques se rencontrent des assemblages de causes continues et discontinues, dont un grand nombre peuvent être considérées comme

ALLURE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

connues par leur sens d'action, leur mode d'influence et la manière dont elles se modifient au cours du phénomène, soit d'elles-mêmes, soit sous l'action de causes secondaires. Une cause continue, par exemple, se manifeste dans les réactions chimiques dont l'intensité règle la vitesse de réaction et qui varie au cours de celle-ci avec la concentration du mélange considéré par rapport aux corps actifs et aux produits de la réaction. Telle serait aussi la cause perturbatrice, provoquée par la chaleur ou la pression, tendant à faire varier le coefficient d'activité de cette même cause transformatrice (ce coefficient d'activité, dans les réactions homogènes, serait la constante de la vitesse de la réaction).

Parmi les causes chimiques discontinues, rappelons par exemple, celles qui provoquent des modifications déterminées de propriétés physiques ou chimiques des corps et qui sont, elles-mêmes, provoquées par des transformations chimiques. Ainsi la substitution d'un élément à un autre qui lui est homologue, a pour effet de déterminer des modifications de propriétés physiques ou chimiques des corps où ces substitutions sont effectuées. Ces modifications ont un sens connu et dans certains cas on en connaît même la loi approchée. Par exemple, chaque groupe CH_2 dans les alcools normaux tend à élever la température d'ébullition de ceux-ci d'une vingtaine de degrés. Chaque groupe CH_2 dans les hydrocarbures tend à élever la température d'ébullition d'un nombre de degrés qui varie suivant une loi connue empiriquement en fonction du nombre de ces groupes. La substitution du chlore, du brome, de l'iode au fluor, du brome, de l'iode au chlore ou de l'iode au brome tend à élever la température d'ébullition du corps d'un nombre de degrés *sensiblement constant* pour une série déterminée de composés homologues. On sait égale-

ment que certains éléments et groupes fonctionnels sont affectés d'une tendance à modifier d'une manière déterminée l'acidité des corps dans la composition desquels ils entrent; ces modifications sont *sensiblement constantes* pour un élément ou un complexus déterminé et l'on peut en exprimer les grandeurs en nombres (De Forgrand). Un atome d'hydrogène, par exemple, tend à *diminuer* l'acidité de 2,88; un atome de carbone l'*augmente* de 3,01; un groupe OH l'*augmente* de 34,07; un groupe CH³ la *diminue* de 5,63.

Le mélange d'air et de vapeur d'essence n'est explosif qu'autant que la proportion d'essence qui entre dans le mélange *ne sort pas de deux limites assez rapprochées l'une de l'autre* (principe même des carburateurs dans les moteurs à essence).

Pour une foule de facteurs ou faits jouant le rôle de causes directes ou indirectes dans les phénomènes biologiques, on peut connaître des particularités qualitatives de leurs activités. Pour un grand nombre de propriétés physiologiques, jouant le rôle de causes, on connaît le sens, parfois même la vitesse de leurs variations sous l'influence de divers facteurs qui, par cette action indirecte, introduisent des perturbations plus ou moins sensibles dans le phénomène. On sait, par exemple, que le sérum sanguin possède deux sortes de propriétés jouant le rôle de causes impulsives ou dépressives dans certains phénomènes vitaux: la propriété toxique et la propriété coagulatrice. Toutes deux *s'affaiblissent* sous l'action de la chaleur, la première décroissant *plus vite* que la seconde. On sait, de même, que l'activité diurétique du sucre dans les injections intraveineuses *croît* avec l'augmentation de la pression osmotique. On sait encore que l'influence de la lumière sur le développement des bacilles est antagoniste et que cette tendance antagoniste *augmente* avec

l'intensité lumineuse. Au nombre des moyens qu'utilise l'organisme dans sa défense contre les bacilles pathogènes, il y a certaines propriétés humorales défavorable à la vie, à la pullulation et à l'activité sécrétoire de bacilles, qu'on réunit sous le nom de propriétés bactéricides, et qui jouent ainsi le rôle de causes *dépressive* par rapport à l'activité des bacilles. Une autre propriété du sérum sanguin, qui est sans action directe contre les bacilles, mais qui aide l'organisme dans sa défense contre leurs poisons, est la propriété antitoxique. Tout ce qui influe, surtout d'une manière durable, sur l'activité nutritive des cellules, peut modifier la composition chimique des humeurs. Les propriétés antitoxiques, et surtout les propriétés bactéricides des humeurs étant liées à leur composition chimique, le changement de l'activité nutritive des cellules peut exercer une influence sur la réceptivité ou sur la résistance aux maladies infectieuses comme aussi sur la gravité ou la durée de ces maladies. D'autre part, les modifications dans la composition chimique des humeurs peuvent aussi influencer directement sur l'activité des bacilles, leur pullulation, leur activité sécrétoire. Par suite, une cause secondaire (une thérapeutique, l'influence du milieu, un changement de régime nutritif, etc.) peut exercer sur le cours de la maladie une double action : l'une sur la cause impulsive (activité des bacilles), l'autre sur les causes dépressives (propriétés bactéricides et antitoxiques des humeurs). Chacune de ces deux actions peut être *renforçante*, *affaiblissante* ou *indifférente* par rapport à la cause impulsive et aussi par rapport aux causes dépressives. Suivant le *sens* de ces actions respectives, l'action résultante sur le cours de la maladie sera : *aggravante*, *aggravante légère*, *atténuante*, *atténuante légère*, *nulle*. Les indications qualitatives qu'on pourrait posséder, touchant l'activité de

bacilles, l'activité de divers agents, de diverses thérapeutiques, sur le mode de leurs variations suivant leurs doses et leurs combinaisons, etc. permettraient de préciser les particularités qualitatives du cours de la maladie dans laquelle ces activités interviennent. Ainsi, l'on sait que l'action *favorable* au développement des bactéries, rattachée à la chaleur, présente un *maximum* variant d'une espèce microbienne à une autre. La virulence pathogène varie elle-même avec la chaleur en passant par un *maximum* pour une certaine température *optimum*. La lumière étant un agent de destruction des bactéries, elle peut, comme tous les agents bactéricides, déterminer l'*atténuation* de la virulence des bactéries pathogènes. Les antiseptiques exercent une action *nuisible* sur les bactéries ; la proportion d'antiseptique à employer doit être *proportionnée* à la richesse en bactéries du milieu que l'on veut stériliser. On sait de même que pour un grand nombre de médicaments, le *sens* de leur action ne change pas avec la dose employée, mais qu'il y a aussi des médicaments pour lesquels l'action *change de signe* lorsque la dose dépasse une grandeur déterminée : tel est, par exemple, le cas des solutions de quinine, dont le sens d'action dans certaines maladies dépend de l'état de dilution.

Certains sels de sodium (chlorure, nitrate) exercent sur la plante une influence *favorable* à la fonction chlorophyllienne et, partant, à la chlorovaporation et cela par la raison suivante : la présence de ces sels dans le sol ralentit l'absorption de l'eau par les racines *plus encore* que la chlorovaporation, de sorte que la *diminution* de la quantité relative d'eau chez la plante s'est trouvée *accélérée* ; il en résulte une aptitude *plus grande* pour l'éthérification (Charabot et Hebert).

Les sels de calcium provoquent une *activation* du suc.

ALLURE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

pancréatique, laquelle ne se réalise qu'après un *temps perdu* plus ou moins considérable. Or, quel que soit le temps perdu, cette activation se produit toujours *brusquement* et présente les caractères d'un véritable phénomène explosif (Delezenne).

La choline, base très répandue dans l'économie animale où elle se rencontre à l'état libre ou sous forme de combinaisons complexes, exerce une action *favorable* sur les sécrétions salivaire, pancréatique et rénale. Injectée par voie intraveineuse, elle produit un *abaissement* de la pression artérielle. Sous ce rapport elle se comporte comme un *antagoniste* de l'adrénaline : on peut, en effet, associer ces deux substances en quantités telles que leur effet propre se trouve *neutralisé* vis-à-vis de la pression artérielle.

La magnésie exerce une influence *accélératrice* dans la transformation de la saccharose par l'invertine, et il y a une dose *optimum* pour cette influence.

La caféine exerce une action *accélératrice notable* sur les battements du cœur.

Certains animaux invertébrés (insectes, crustacés, vers, mollusques) fuient les endroits éclairés par les rayons ultraviolets et sont sensibles à ces rayons. Relativement à cette action on a démontré l'existence d'un *seuil* d'excitations ; une excitation de durée inférieure au seuil détermine un effet qui continue encore à *augmenter* pendant un certain temps après la fin de l'excitation et disparaît ensuite *graduellement* (M^{me} et M. V. Henry).

Malgré la diversité des conceptions scientifiques au sujet de la valeur en Économie politique, on s'accorde à admettre la tendance des prix courants à *osciller* autour du prix normal, du prix d'*équilibre*, grâce à l'action du prix courant sur la production. Toute hausse du prix courant au-dessus du prix d'équilibre stimule un *accrois-*

sement de la production qui finit par *déprimer, baisser* le prix ; tout avilissement du prix courant favorise un *ralentissement* de la production qui finit par *remonter, hausser* le cours. On a là des tendances *réactives* à particularités qualitatives connues rappelant celles qui caractérisent les phénomènes d'induction.

Dans les phénomènes psychiques, on connaît également des particularités qualitatives, rattachées à divers facteurs jouant un rôle de cause dans le mécanisme du phénomène. Ces particularités atteignent parfois un tel degré de précision qu'on avait cru pouvoir les formuler sous la forme de lois quantitatives. Tel est le cas de la fameuse loi de Weber-Fechner, d'après laquelle la sensation croîtrait comme le logarithme de l'excitation. On ne l'accepte plus sous cette forme absolue ; ce qui en reste, c'est que la sensation *augmente plus lentement* que l'excitation qui la provoque et que la vitesse de croissance de la première est *d'autant inférieure* à celle de la seconde, que l'excitation est plus forte. On sait, de même, que la tendance motrice, rattachée à une idée, est *d'autant plus forte* que l'acte imposé par cette tendance procure plus de plaisir, ou bien s'accorde mieux avec les intérêts personnels. Ces tendances changent aussi d'intensité avec l'élément affectif dans l'idée : le *maximum* est atteint pour les idées à élément affectif très intense et où l'idée entraîne le passage à l'acte brusque, immédiat ; le *minimum* aura lieu dans les idées à élément affectif très faible, ne provoquant, souvent, au lieu du passage à l'acte, qu'un nouvel état de conscience. Les tendances motrices, impulsives ou dépressives, rattachées au facteur émotionnel et au facteur intellectuel de l'esprit humain, évoluent au cours du temps avec des *vitesse*s très différentes. On sait, en effet, que le côté émotionnel ne fait que des progrès *très lents*, tandis que le côté

intellectuel se développe avec une vitesse considérable (Buckle). Ainsi, si l'on compare la civilisation actuelle avec la civilisation grecque ou romaine, on constate que la gamme des sentiments fondamentaux n'a pas beaucoup changé ; ce sont toujours les mêmes notes de l'amour, de la haine, de l'avidité, de l'ambition etc. ; ce sont toujours les mêmes passions qui agitent, poussent et tourmentent l'humanité. A contraire, le système intellectuel des connaissances est totalement transformé ; les idées sont entièrement différentes et un abîme sépare la science d'aujourd'hui de celle d'autrefois (G. Ferrero). La particularité qualitative : l'existence d'un retard que peut présenter l'action d'une cause au cours du phénomène, se présente dans une foule de phénomènes et joue un rôle important dans leurs mécanismes. Comme le met en évidence un type de mécanismes cité dans le chapitre précédent, c'est à un retard, dont serait affectée la cause dépressive variant en raison directe de l'effet produit, que peuvent être dûes les oscillations amorties dans lesquelles consisterait un phénomène considéré. L'on verra, dans ce qui suit, qu'une telle cause, imposant des oscillations amorties, se rencontre dans le mécanisme de certains phénomènes photochimiques. Une cause à retard se présente aussi dans le mécanisme par lequel Mascart explique le phénomène des anneaux colorés qui se forment sur la rétine, lorsque l'œil vise dans une direction fixe, devant un écran blanc, un objet noir en mouvement, parcourant très rapidement le champ visuel ; le rôle de causes à retard serait joué par certaines réactions retardées de la rétine, provoquées par les excitations lumineuses. On retrouvera vraisemblablement des causes semblables dans certains phénomènes oscillatoires provoqués par des excitations nerveuses, où le rôle de cause à retard serait joué par une sorte de réaction nerveuse

qui met un certain temps à paraître et à se laisser sentir. Dans les phénomènes économiques, on rencontre une cause à retard dans la cause dépressive provenant de l'accumulation des échéances résultant des opérations à terme engagées par des transactions antérieures ; c'est la cause qui, combinée avec certaines causes impulsives, est capable d'imposer à des phénomènes économiques le caractère oscillant et de déclancher, avec les retours périodiques, des crises commerciales.

On conçoit la possibilité d'avoir des connaissances pareilles sur les particularités qualitatives des causes pour toutes sortes de phénomènes, dans les cas mêmes où le phénomène résulterait d'un grand nombre de causes souvent irrégulières, mal connues ou dûes au hasard, d'effets individuels enchevêtrés les uns dans les autres. C'est qu'en effet, il arrive dans une foule de cas que, parmi les causes multiples qui déterminent le phénomène, un très petit nombre, celles qui sont précisément les mieux connues, ont seules une importance prépondérante. C'est, par exemple, le cas des forces d'attraction du soleil et de la lune dans le phénomène des marées ; les circonstances locales ou accidentelles, comme la configuration du fond de la mer, le degré de resserrement des eaux dans les terres, la direction des vents, ne jouent qu'un rôle secondaire qu'on peut négliger sans que ce qui est essentiel dans le phénomène en soit altéré. Tel serait aussi le cas des grandes causes directrices, subites ou permanentes, dans une foule de phénomènes sociaux où les petites causes particulières, en nombre parfois illimité, se contre-balancent à la manière des petites erreurs autour de la valeur vraie et s'évanouissent par l'effet des grandes causes dominantes. Comme exemple de cause dominante impulsive, on peut citer l'influence permanente des générations, l'une sur l'autre, dans une

direction déterminée. Dans le même ordre d'idées, la cause dominante dépressive serait, soit la force d'habitude, soit la tendance résistante due à l'atavisme dans le cours des générations.

Enfin, les indications pareilles aux précédentes, plus ou moins vagues, sur les facteurs et les faits jouant le rôle de cause, exerçant une influence, introduisant des perturbations, se retrouvent jusque dans les phénomènes de la vie ordinaire et dans les phénomènes quotidiens vulgaires. Elles se reflètent dans le langage courant. dans ces nombreuses comparaisons, assimilations et métaphores qui en sont une forme particulière d'expression.

II. — MANIFESTATION EXTÉRIEURE DES PARTICULARITÉS D'ALLURE.

Formes variées sous lesquelles apparaissent extérieurement diverses particularités d'allure d'un élément. — Formes extérieures disparates de l'allure collective provenant de la simultanéité des changements individuels des éléments. — Diverses manières suivant lesquelles les particularités d'allure, individuelles et collectives, sont observables.

Le mode de manifestation extérieure des particularités d'allure communes imposées par un type déterminé de mécanismes à divers phénomènes disparates, est infiniment varié suivant les significations concrètes dont elles se revêtent et qui varient d'un phénomène à l'autre. Une même particularité commune peut ainsi apparaître sous des aspects différents semblant n'avoir entre eux aucun rapport.

Ainsi, la croissance d'un élément au cours du phénomène se traduit, tantôt par l'accélération de la vitesse de

translation ou de rotation dans un mouvement, tantôt le déplacement d'un point lumineux, par le changement de direction d'un rayon lumineux ou d'un faisceau de rayons lumineux, par la transition graduelle d'une couleur passant du rouge au violet, etc. dans les phénomènes optiques ; tantôt par l'augmentation de la température d'un point, par l'échauffement d'un corps, etc. dans des phénomènes thermiques ; tantôt par un courant de plus en plus intense, par l'aggravation d'une maladie, par l'accélération d'une réaction chimique, etc.

La décroissance d'un élément peut apparaître sous la forme de changement de couleur passant du violet au rouge, de la diminution de la température d'un point ou du refroidissement d'un corps ; de l'affaiblissement d'un courant électrique, du ralentissement d'une réaction chimique, de l'atténuation d'une maladie. Une décroissance très brusque peut se traduire par l'approche brusque ou le choc de corps, par un phénomène de mutation au cours de variation d'une espèce animale ou végétale, par la coagulation instantanée d'un colloïde.

Le passage d'un élément par la valeur zéro se traduit, par exemple, par des raies ou bandes noires dans des phénomènes d'interférences ; le passage par un point anguleux du diagramme indique, dans le cas où ce diagramme est celui de solubilité de corps cristallisés, un changement allotropique ou un changement d'hydratation du corps considéré, ou bien un changement réciproque de deux corps en dissolution, etc.

Le caractère oscillant se manifeste, tantôt par les oscillations d'un pendule, tantôt par l'apparition d'un courant électrique alternatif, par les alternances successives d'aggravation et d'atténuation d'une maladie, par des oscillations des affaires commerciales dans un pays, etc.

PARTICULARITÉS D'ALLURE

L'amortissement progressif des oscillations se retrouve dans l'immobilisation progressive d'un pendule par un série d'oscillations de moins en moins sensibles ; dans l'uniformisation progressive d'un courant électrique alternatif par une série d'alternances de plus en plus faibles dans le caractère oscillant amorti de l'excitabilité du cœur par des excitations faradiques constantes, ou de l'excitabilité du centre nerveux, ou de l'excitabilité de la rétine par la lumière ; dans le fait que, dans l'action photochimique de la lumière, l'image se développe en noir de plus en plus intense jusqu'à une certaine intensité après quoi le noircissement va en diminuant jusqu'à un certain minimum, suivi d'un second maximum plus faible que le premier, suivi ensuite par un second minimum plus faible que le premier et ainsi de suite ; le même caractère peut aussi se manifester par l'entrée d'un organisme dans un régime stationnaire, par une série d'alternances de moins en moins sensibles, etc.

La périodicité du changement d'un élément ou d'un système d'éléments se traduit par le passage du mobile par les mêmes positions dans des intervalles égaux de temps ; par les variations périodiques de l'intensité du parfum des fleurs sous l'influence de la lumière solaire par le retour périodique du flux et reflux dans des phénomènes de marées ; par des mouvements rythmiques dans l'organisme ; par le retour périodique des crises commerciales et économiques.

Les particularités de l'allure collective, auxquelles donne naissance la simultanéité des allures individuelles des éléments du système, apparaissent également sous les formes extérieures les plus disparates. Elles peuvent se traduire sous la forme de la trajectoire d'un point mobile, par le fait que le point reste constamment sur une surface ou sur une courbe déterminée ; par le mou

vement complexe d'une barre, d'une chaîne, d'une toupie ; par l'image que présente la propagation des ondes sur la surface d'un liquide ; par diverses figures optiques, par les couleurs des courbes minces, par divers phénomènes d'interférences ; par l'image collective de l'état d'une maladie, d'un climat, de l'état économique, politique, financier d'un pays, etc.

De telles particularités d'allure, individuelle ou collective, revêtues ainsi de formes spécifiques concrètes, peuvent être observées :

1^o Directement par nos sens, comme formes géométriques, mode de mouvement, couleurs, intensité de lumière, hauteur du son, température, sensations de toutes sortes ;

2^o Indirectement, par exemple par les instruments transformant les particularités observables par un certain sens, en particularités observables par d'autres sens (la température observée par le thermomètre, l'intensité du courant par le galvanomètre). D'après la conception de Spencer, on peut regarder ces instruments comme des prolongements artificiels de nos sens, de même qu'on peut regarder les machines comme une extension artificielle de nos organes du mouvement. « La Physique connaît le moyen de remplacer un sens par les autres. Les méthodes optiques nous permettent de voir les phénomènes sonores, et inversement, nous pouvons rendre sensibles à l'oreille des phénomènes lumineux (méthodes vibroscopiques, photophone). La chaleur, qui n'est connue immédiatement que par le sens du toucher, devient sensible à l'œil à l'aide du thermomètre. Et même des phénomènes qui immédiatement ne seraient perceptibles à aucun de nos sens, peuvent être vus à l'aide du galvanomètre et du magnétomètre, comme, par exemple, des courants électriques très faibles ou des

PARTICULARITÉS D'ALLURE

variations de l'intensité magnétique, que nous ne pouvons ni voir, ni entendre, ni toucher ». (Mach)

3° Par des faits révélateurs, en corrélation avec les particularités d'un phénomène complexe et qui, étant plus faciles à observer, à constater, peuvent révéler des particularités masqués dont ils sont les signes extérieurs indirects, mais certains. Tels seraient, par exemple, divers symptômes par lesquels on peut suivre les troubles physiologiques, météorologiques, sociaux, dont le véritable noyau peut être masqué par des apparences extrêmement variées. Parmi les symptômes communs, dans les troubles pathologiques, la fièvre, dont on peut suivre l'allure d'après les diagrammes du pouls et de la température, est un des plus fréquents. Il arrive qu'un processus morbide général, régi par un type déterminé de mécanismes, soit la base, l'essence, le noyau, d'une foule de maladies en apparence disparates et fort éloignées les unes des autres ; ces maladies seraient les faits révélateurs de l'ensemble de particularités du processus morbide dont ils sont diverses manifestations extérieures. Ainsi, la lenteur du processus nutritif, la nutrition retardée (diathèse bradytrophique) est le noyau commun qui engendre, associe, et résume des maladies disparates, telles que : l'obésité, la goutte, la gravelle, la lithiase biliaire, le diabète, certaines maladies de peau, les migraines, quelques variétés de rhumatismes, etc... par lesquelles elles se manifestent extérieurement. Dans la théorie mercantiliste, en Economie politique, on considérerait l'allure du commerce comme symptôme universel du mouvement économique d'un pays, dont il est l'indice apparent le plus frappant. Pour d'autres phénomènes économiques, météorologiques, etc., complexes, on proposerait des indices totalisateurs, formant un faisceau de faits réunis dans le but

de rendre l'image du phénomène plus complète et plus précise. On retrouve de ces signes extérieurs révélateurs dans les phénomènes de toutes natures; leur diversité est en rapport avec celle du monde des phénomènes concrets.

CHAPITRE V

FORMES SPÉCIFIQUES DE MÉCANISMES ET DE PARTICULARITÉS D'ALLURE DANS QUELQUES ESPÈCES DE PHÉNOMÈNES CONCRETS

Mécanismes des divers phénomènes électriques. — Mécanisme de l'action photochimique de la lumière sur la couche sensible. — Mécanisme de la formation et de la coagulation des colloïdes. — Mécanisme des réactions chimiques normales homogènes. — Effet de transposition des éléments sur les propriétés des composés chimiques isomères. — Mécanisme des ondulations d'excitabilité des diverses parties de l'organisme. — Action d'une cause secondaire sur le cours d'une maladie. — Mécanisme des variations de la pression et de la vitesse dans la circulation du sang. — Influence des obstacles sur l'allure de la respiration. — Mécanisme des variations périodiques de l'intensité du parfum des fleurs. — Mécanisme de la périodicité vitale des certains organismes marins. — Mécanisme des retours périodiques des crises agricoles. — Mécanisme de multiplication rythmique des espèces organiques. — Mécanisme des oscillations des phénomènes économiques. — Mécanisme des processus normaux et pathologiques de production des actes volontaires. — Mécanisme général de synchronisation des phénomènes oscillants amortis dus à des causes périodiques. — Mécanisme de renforcement des phénomènes périodiques peu intenses par des faibles causes périodiques.

Pour donner une idée de la diversité des modes de répartition des rôles d'un type déterminé et des formes spécifiques par lesquelles peuvent se traduire extérieu-

rement les particularités d'allure rattachées à diverses combinaisons de rôles, nous allons exposer, dans ce chapitre, les mécanismes spécifiques d'un certain nombre de phénomènes de natures concrètes diverses, dont quelques-uns sont choisis parmi les plus simples, et rentrant tous dans des schémas de l'espèce précédente.

I. — MÉCANISMES DES DIVERS PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

Sans avoir besoin de connaître la nature intime de l'électricité et de divers autres facteurs intervenant dans les phénomènes électriques, rien qu'en faisant intervenir la *nature des rôles* joués par divers facteurs dans de tels phénomènes et les relations existant entre eux, on peut concevoir les mécanismes de ceux-ci sous la forme qu'embrassent divers types de mécanismes pareils aux précédents.

Ainsi, la loi d'Ohm, avec la loi de l'induction, ramène le phénomène des fluctuations électriques dans un circuit fixe et indéformable, dans lequel se trouve intercalée une pile électrique constante, au type de mécanismes suivants : *phénomène à un élément descriptif changeant sous l'action directe de deux causes : l'une impulsive invariable, l'autre dépressive et variant en raison directe de la grandeur de l'élément*. Le rôle de l'élément descriptif est joué par l'intensité du courant parcourant le circuit ; celui de la cause impulsive par la force électromotrice de la pile ; le rôle de la cause dépressive par la force électrique de résistance (force réactive contre-électromotrice) variant en raison directe de l'intensité du courant. Les particularités du changement de l'intensité du courant, qualitatives et quantitatives, sont impliquées dans l'équation différentielle que comporte

un tel type de mécanismes et sont embrassées par un schéma pareil à ceux du chapitre III.

Les mêmes lois fondamentales ramènent le phénomène des fluctuations électriques, dans un système de circuits mobiles ou déformables, au type de mécanisme suivants : *système d'éléments descriptifs changeant sous l'action directe de trois espèces de causes, les unes impulsives et invariables, les autres réactives et dépressives variant en raison directe de la grandeur de l'élément au quel elles se trouvent appliquées, les troisièmes, également réactives, provenant des inerties dans le phénomène et variant en raison directe de celles-ci.* Le rôle des éléments descriptifs serait joué par les intensités des courants ; le rôle de causes de première espèce par les forces électromotrices constantes des piles intercalées les causes de seconde espèce seraient les forces électriques de résistance dans les circuits, et celles de troisième espèce seraient les forces électromagnétiques induites provenant des déplacements et des déformations des circuits. Les particularités, qualitatives et quantitatives, des modifications des intensités du système de courants sont impliquées dans le système d'équation différentielles simultanées correspondant à un tel type de mécanisme et dans le schéma général qui en résulte.

La décharge d'un condensateur électrique, entretenu par une pile constante, est due à un mécanisme du type suivant : *phénomène à un élément descriptif, changeant sous l'action directe de trois causes : l'une impulsive et invariable, l'autre réactive et dépressive, variant en raison directe de la grandeur de l'élément, la troisième également réactive et dépressive, variant en raison directe de la totalité de l'élément.* Le rôle de l'élément est joué par le courant de décharge ; le rôle de la première cause est joué par la force électromotrice constante d

la pile ; la deuxième cause serait la force de résistance électrique, variant en raison directe de l'intensité du courant, et la troisième serait la force électromotrice de Coulomb, variant en raison directe de la charge électrique des armatures du condensateur. Le rôle d'inertie est joué par la force électromotrice d'induction, variant en raison directe de la vitesse avec laquelle change l'intensité du courant. L'allure du phénomène est décrite par le schéma impliqué dans l'équation différentielle rattachée à un tel type de mécanismes ; l'intensité du courant de décharge tendra, par une suite d'oscillations de plus en plus faibles, ou bien en variant constamment dans un même sens, vers une valeur asymptotique finie, caractérisant le régime définitif, stationnaire, du phénomène. Le premier cas aura lieu lorsque le coefficient d'inertie (le rôle de ce coefficient est joué par le coefficient de self-induction du circuit) sera petit par rapport au coefficient d'activité de la deuxième cause (le rôle de ce coefficient étant joué par la résistance ohmique du circuit) ; le second cas aura lieu lorsque le premier coefficient sera très grand par rapport au deuxième. Entre ces deux cas, il y en a un intermédiaire, représentant le passage du premier cas au second (cas critique).

Le mécanisme du fonctionnement des piles électriques se ramène, d'après les vues de Van t'Hoff et Arrhenius, à un type de mécanisme très simple : *action simultanée de deux causes directes antagonistes l'une à l'autre*, le sens de la cause résultante déterminant l'allure du phénomène. La tension de la dissolution électrolytique, jouant le rôle de la cause impulsive C_1 , aurait pour objet d'augmenter le nombre des ions dans la dissolution ; la pression osmotique des ions métalliques, jouant le rôle de la cause dépressive C_2 , ten-

draît à contrarier cette dissolution des ions. D'autre part, le sens de l'électrisation du métal et de la solution dépend de celle des deux causes en jeu qui est prépondérante: si c'est la cause C_1 , le métal est électrisé négativement et la solution positivement; si c'est la cause C_2 , le contraire se produit. Dans le premier cas, la différence de potentiel entre les électrodes croît avec le renforcement de la cause C_1 , et avec l'affaiblissement de la cause C_2 ; dans le second cas, c'est l'inverse qui a lieu. Des données sur le sens et l'intensité des causes secondaires, sur la vitesse de variation de causes C_1 et C_2 , permettraient, d'après le schéma précédent, d'étudier les perturbations que les causes secondaires apportent dans le cours du phénomène.

II. — MÉCANISME DE L'ACTION PHOTOCHIMIQUE DE LA LUMIÈRE SUR LA COUCHE SENSIBLE

L'expérience a montré, pour l'action photochimique de la lumière, que, si le temps d'illumination de la couche sensible va en augmentant, l'image se développe en noir de plus en plus intense jusqu'à une certaine intensité; cette intensité une fois atteinte, le noircissement va en diminuant jusqu'à un certain minimum; celui-ci est suivi d'un second maximum, puis vient un second minimum et ainsi de suite. Janssen en a compté trois, mais la rapidité avec laquelle les oscillations du phénomène s'amortissent, semble seule avoir empêché d'en compter davantage.

L'explication du mécanisme du phénomène, donnée par M. G. Sagnac, rentre dans notre cinquième schéma du chapitre III et se ramène à *l'action simultanée de deux causes antagonistes, l'une impulsive d'intensité invariable,*

l'autre dépressive variable et retardée, variant en raison directe de l'effet produit relatif à une époque antérieure. Le rôle de la première cause est joué par la tendance constante de la lumière à modifier le sel d'argent de la couche sensible ; la deuxième cause serait une réaction de la couche qui produit, avec un certain retard, une modification inverse de la couche.

III. — MÉCANISME DE LA FORMATION ET DE LA COAGULATION DES COLLOIDES

Si, dans une eau alcaline, on introduit une grosse goutte d'huile et que l'on vienne à agiter fortement le mélange, l'huile se répartira au sein de l'eau en une infinité de petites gouttelettes isolées, formant ainsi une *émulsion*. La grosseur des gouttelettes peut être diminuée jusqu'au point où l'émulsion sera devenue un *colloïde*. A cette phase du phénomène, et malgré les forces de cohésion très fortes à cause des très petites distances, les gouttelettes restent séparées les unes des autres. Cependant, il arrive qu'une cause subite, instantanée (par exemple la décharge électrique) produit la coagulation instantanée du colloïde.

M. J. Perrin ramène l'explication du phénomène à un mécanisme rentrant dans le schéma suivant : *contrebalancement mutuel de deux causes antagonistes, une impulsive C_1 , et une dépressive C_2 , d'intensités variant avec la grandeur de leur effet et où la cause dépressive peut varier d'une manière discontinue, avec des chutes brusques ayant pour conséquence la variation brusque de l'effet résultant dans le sens de la cause impulsive.* A savoir, les fines gouttelettes d'huile, suspendues dans le liquide, s'électrisent à son contact et toutes de la même manière ;

de là des répulsions (cause C_2) entre gouttelettes voisines porteurs d'électricité de même nom. Cette cause est contre-balancée par la force de cohésion (cause C_1) entre les gouttelettes, devenue sensible lorsque les distances mutuelles des gouttelettes sont devenues très petites, et d'autant plus intense (ainsi que la cause C_2 que ces distances sont plus petites. L'équilibre aura lieu quand les distances seront exactement ce qu'il faut pour que la cohésion à cette distance contre-balance les répulsions électriques. Mais si, par un moyen quelconque on arrive à décharger brusquement de leur électricité (chute brusque de la cause C_2) tous les globules du colloïde, la cohésion, en restant incompensée, effectuera à l'instant son action : les globules se précipiteront l'un sur l'autre et il y aura coagulation.

On peut en tirer des conséquences pratiques. D'abord on prévoit la possibilité de *l'électro-coagulation des colloïdes*. On remarquera ensuite que le brouillard est un colloïde se composant de fines gouttelettes d'eau suspendues dans un fluide, l'air atmosphérique, au sein duquel elles restent séparées par une tension électrique (cause C_2). Si l'on décharge, dans l'atmosphère, l'électricité de nom contraire produite par une machine les gouttelettes, se précipitant, par cohésion (cause C_1) l'une sur l'autre, formeront quelques grosses gouttes de pluie qui laisseront l'atmosphère limpide. Une réalisation concrète du schéma est fournie par la machine à dissiper le brouillard, réalisée à Londres en 1905.

IV. — MÉCANISME DES RÉACTIONS CHIMIQUES NORMALES
HOMOGÈNES

Considérons une réaction poly-moléculaire dans laquelle les réactifs et les produits de réaction seraient tous liquides, avec la condition qu'aucune réaction secondaire dans le mélange ne viendrait troubler la réaction considérée. D'après une hypothèse fondamentale de la dynamique chimique, la vitesse de changement de la concentration du mélange en un quelconque des produits de la réaction, varie d'un instant en un autre, en raison directe des concentrations $w_1, w_2, w_3 \dots$ du mélange en chaque réactif. D'autre part, en vertu d'une autre loi chimique fondamentale, il y a à chaque instant proportionnalité entre les quantités respectives de produits formés depuis le commencement de la réaction jusqu'à l'instant considéré, ce qui entraîne la proportionnalité entre les concentrations S_1, S_2, S_n du mélange en produits de réaction. En prenant, donc, pour éléments descriptifs du phénomène, les concentrations $S_1 \dots S_n$, celles-ci changeront au cours du phénomène comme si elles étaient sollicitées par des causes transformatrices dont chacune varierait en raison directe de chaque concentration $W_1, W_2 \dots$, les éléments descriptifs étant assujettis à $n-1$ liaisons fixes, consistant dans la proportionnalité de $n-1$ quelconque d'entre eux à n -ième. Ces causes transformatrices, dont chacune tend à faire augmenter la concentration correspondante S_i , comme son objet, faiblissent au cours de la réaction au fur et à mesure qu'elle s'effectue, car les concentrations $w_1, w_2 \dots$, auxquelles elles sont à la fois toutes proportionnelles, décroissent de plus en plus; chacune de ces causes s'évanouit au moment où un des réactifs se trouve com-

plètement dépensé, car elles sont toutes proportionnelles à chacune des concentrations w_i .

Le mécanisme rentre donc complètement dans notre huitième schéma du chapitre III : *phénomène à n éléments descriptifs dûs à un assemblage de n causes impulsives variables, dont chacune aurait pour objet direct un élément du système, avec $n-1$ liaisons fixes entre ces éléments leur imposant la simultanéité de croissance ; de plus, les causes faiblissent au fur et à mesure qu'elles effectuent leur action et s'évanouissent lorsque l'effet atteint une grandeur finie déterminée*. Un tel schéma implique les faits suivants :

Chacune des concentrations S_i croîtra au cours de la réaction, mais de plus en plus lentement et tendra vers une grandeur qu'elle ne dépassera plus. La réaction chimique tendra progressivement, de plus en plus lentement, vers un régime stationnaire, atteint lorsqu'un réactif sera complètement épuisé ; ce régime représenterait le régime asymptotique du phénomène et serait défini par l'ensemble de valeurs des concentrations prises au moment où un réactif est ainsi épuisé. L'équation différentielle que les données du type de mécanismes permettent de former, fournit le moyen de préciser aussi les particularités quantitatives de l'allure du phénomène depuis son commencement jusqu'à son entrée au régime stationnaire asymptotique. Dans le cas, par exemple des réactions monomoléculaires, la concentration du mélange en produit de réaction varie au cours du temps suivant une courbe exponentielle ascendante, passant par l'origine et ayant une asymptote parallèle à l'axe des temps ; cette asymptote représente le diagramme du régime asymptotique du phénomène. Dans le cas des réactions poly-moléculaires, la courbe du diagramme de chaque concentration, d'une nature analytique plu-

complexe que la précédente, présente une asymptote parallèle à l'axe des temps; l'ensemble de ces asymptotes définit le régime asymptotique du phénomène.

Divers facteurs peuvent influencer sur les coefficients d'activité des causes transformatrices, et, par cela même, sur l'allure de la réaction. Le rôle de ces coefficients est joué par les constantes des vitesses de la réaction et celles-ci peuvent changer avec la température, la pression, la nature du récipient dans lequel la réaction se passe, etc. Une telle influence déforme les courbes des diagrammes des concentrations, sans que celles-ci cessent de passer par l'origine et de présenter l'asymptote parallèle à l'axe des temps. Lorsque une telle influence a pour effet la croissance des coefficients d'activité, les courbes des diagrammes de concentrations seront déformées vers le haut; elles le seront vers le bas si les coefficients d'activité ont diminué.

V. — EFFET DE TRANSPOSITION DES ÉLÉMENTS SUR LES PROPRIÉTÉS DE COMPOSÉS CHIMIQUES ISOMÈRES

Considérons plusieurs composés chimiques C_1, C_2, C_3, \dots ne différant entre eux, par leur composition chimique que par le fait qu'un élément ou groupe fonctionnel E_1 , figurant dans C_1 , se trouve dans C_2 , remplacé par un autre élément ou groupe E_2 , dans C_3 par E_3 , etc. Soit α un coefficient définissant une propriété physique, chimique, etc., qui changerait d'un composé C_i à un autre de sorte qu'à C_i se trouve rattachée la grandeur α_i de ce coefficient.

Rangeons les éléments ou groupes E_i par ordre de

grandeurs correspondantes croissantes des α_i , de sorte que dans une telle suite

$$(E) \quad E_1, E_2, E_3 \dots$$

le coefficient α_i croît avec l'indice i .

Les données expérimentales dénotent l'existence de suites (E) dans lesquelles, pour un même coefficient α convenablement choisi, l'ordre des termes *reste le même* quelle que soit l'espèce des composés correspondants C_i . Ainsi, par exemple, la substitution du chlore, du brome, de l'iode au fluor, du brome, de l'iode au chlore, ou de l'iode au brome [a toujours pour effet d'*élever* la température d'ébullition du composé dans lequel cette substitution s'effectue, anorganique ou organique. La suite

$$(I) \quad \text{Fl, Cl, Br, I}$$

jouera donc le rôle d'une suite (E) par rapport à la température d'ébullition et cela quelle que soit l'espèce des composés C_i .

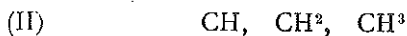
Considérons, d'autre part, plusieurs composés chimiques D_1, D_2, D_3 , ne différant entre eux, dans leur composition chimique, que par le fait qu'un même élément ou groupe d'une suite (E) rattachée à une propriété α et figurant dans chacun de ces composés, y figuré dans un groupe fonctionnel G_1 dans D_1 , dans un autre groupe G_2 dans D_2 , etc. Rangeons les groupes G_i par ordre de grandeurs correspondantes croissantes de α , de sorte que dans une telle suite

$$G \quad G_1, G_2, G_3 \dots$$

le coefficient α_i croît avec l'indice i .

Les données expérimentales dénotent l'existence de suites (G) dans lesquelles, pour un même coefficient α ,

l'ordre des termes *reste le même*, quelle que soit l'espèce des composés correspondants D_i , et quel que soit l'élément E de la suite (E) entrant dans sa composition. Ainsi, par exemple, dans une série de composés monohalogènes isomères, la température d'ébullition la plus élevée est celle du composé contenant l'halogène dans le groupe CH^3 ; celle du composé contenant le même halogène dans le groupe CH^2 est plus basse et celle du composé contenant cet halogène dans le groupe CH est la moins élevée. La suite



jouera donc le rôle d'une suite (G) par rapport à la température d'ébullition et cela quelle que soit l'halogène et l'espèce de composés halogènes D_i . L'ensemble des suites (E) et (G) sera désigné comme une *double suite invariante*, rattachée à la propriété définie par le coefficient α .

Soit maintenant $D_1, D_2, D_3 \dots$ une suite de composés isomères contenant à la fois plusieurs éléments E_i , les mêmes pour tous ces composés, et plusieurs groupes G_i , également les mêmes pour tous ces composés, *ceux-ci ne différant entre eux que par le mode de répartition des E_i dans G_i* . Supposons, de plus, que les E_i et G_i fassent partie d'une double suite invariante rattachée à une propriété déterminée α . Le passage d'un terme à un autre de l'une ou de l'autre des séries (E) et (G) formant une telle double suite invariante impose à la propriété α un changement, qui s'effectuera dans le sens de *croissance* ou de *décroissance* suivant que l'indice du nouveau terme sera supérieur ou inférieur à celui dont on est parti. Chacun de ces passages peut être assimilé à une cause discontinue, impulsive ou dépressive, suivant le sens du passage. Plusieurs passages simultanés peuvent être

autant de causes discontinues, impulsives ou dépressives, qui se superposent pour augmenter ou diminuer la propriété α . Chaque fois, par exemple, qu'on n'effectue, en passant d'un composé D_i à un autre D_j de la suite considérée, aucun passage de la droite vers la gauche ni dans la série (E) ni dans la série (G), la propriété se trouvera *augmentée* ; chaque fois qu'on n'effectue aucun passage de la gauche vers la droite dans ces séries, la propriété se trouvera *diminuée*. Cette augmentation ou diminution serait *moins forte* si l'on supprimait un ou plusieurs de ces passages. On voit aussi qu'on se trouve dans les conditions du type de *mécanismes intermédiaires* indiqués dans le chapitre III et qu'on peut y appliquer les conclusions, rattachées à un tel type de mécanismes, au mode de changement de la propriété α .

Pour en faire une application simple concrète prenons pour les composés $D_1, D_2, D_3...$ divers composés polyhalogènes isomères ; pour les E_i les éléments : fluor, chlore, brome, iode ; pour les G_i les groupes CH, CH^2 , CH^3 . Le schéma se traduit alors par des faits concrets de l'espèce suivante :

De trois composés D_1, D_2, D_3 , isomères, contenant chacun un atôme de chlore et un atôme de brome, celui qui contient les groupes CHCl et CH^2 Br entrera en ébullition à une température plus élevée que celui qui contient les groupes CClBr et CH^3 , et à une température moins élevée que celui qui contient les groupes CH^2 et CHClBr. De même, le composé contenant les groupes CHCl et CH^2 Br bouillira à une température plus élevée que celui qui contient les groupes CHBr et CH^2 Cl. Le composé, par exemple, $CH^3 - CHCl - CH^2$ Br bout à la température de 119° , tandis que $CH^3 - CHBr - CH^2$ Cl bout à la température de 112° , le composé CH^2 Br — CHBr — CH^2 Cl à 195° et

$\text{CH}^3\text{Br} - \text{CHCl} - \text{CH}^3\text{Br}$ à 202° , etc. Le même fait subsiste si l'on y remplace à la fois le chlore par le fluor, et le brome soit par le chlore, soit par l'iode ; ou bien si l'on remplace le chlore par le brome, et le brôme par l'iode.

Les données expérimentales confirment d'ailleurs ces prévisions. Il y aurait intérêt à les étendre à d'autres coefficients α (chaleur spécifique, chaleur latente de vaporisation, coefficient de dilatation, indice de réfraction, résistance électrique, diverses autres constantes optiques, magnétiques, chimiques, etc.) et à d'autres composés isomères. On conçoit les services que pourraient rendre des considérations pareilles à la détermination des formules de constitution de composés isomères.

VI. — MÉCANISME DES ONDULATIONS D'EXCITABILITÉ DES DIVERSES PARTIES DE L'ORGANISME.

Bowditch a le premier remarqué que le cœur, soumis à des excitations faradiques constantes, ne donne pas de réponses toujours uniformes, les unes ayant la grandeur normale, les autres restant sans effet. Marey soumettant ce phénomène à une étude systématique vit que l'excitabilité dépendait du temps écoulé depuis la dernière excitation.

Quand une excitation tombe très peu de temps après que le cœur a commencé une de ses systoles normales, son effet est tout différent suivant le temps écoulé entre la systole et l'excitation. Il y a d'abord un *temps perdu*, c'est-à-dire le temps écoulé entre l'excitation électrique et le début de la contraction ; ensuite, la *hauteur de la secousse* varie d'un moment à un autre. Le temps perdu est d'autant plus grand, et la hauteur de la secousse d'autant plus petite, que l'excitation électrique est plus

rapprochée du début de la systole. L'excitabilité, variant ainsi d'instant à instant au cours d'une révolution cardiaque qui se répète elle-même au cours du temps, présente un caractère ondulatoire rythmique. Marey a nommé *période réfractaire* la période d'inexcitabilité du cœur.

Les recherches expérimentales de MM. Richet et Broca sur l'excitabilité du centre nerveux ont montré l'existence d'un fait analogue dans les changements de cette excitabilité. Les expériences ont été faites sur des chiens choréiques qui, une fois endormis, présentaient des mouvements rythmiques des membres. Des électrodes étant placées dans le cerveau et en connexion avec le secondaire d'une bobine, les réponses pour une excitation de grandeur constante étaient tout-à-fait variables suivant le moment où elles se produisaient, laissant voir qu'il y a une relation étroite entre la grandeur de la réponse et le temps qui sépare l'excitation de la contraction choréique précédente. Si l'on représente en fonction du temps la grandeur de l'excitabilité entre deux contractions choréiques consécutives, on obtient une courbe commençant à croître, atteignant un maximum après lequel elle se met à décroître, passant par un minimum, recommençant à croître de plus en plus lentement et finissant par devenir sensiblement parallèle à l'axe des temps. Elle ressemble tout à fait à la courbe des signaux bridés par Sir William Thomson, représentant, en fonction du temps, la variation de la force électromotrice qu'il faut produire à l'origine d'un câble sous-marin pour obtenir la meilleure utilisation économique de celui-ci, c'est-à-dire le retour à l'équilibre le plus rapide possible après un signal donné.

Ces ondulations ne sont pas un fait isolé ; quelque chose d'analogue doit se passer toutes les fois qu'un

organe est excité. Charpentier a, par exemple, montré que l'excitation électrique directe du nerf lui-même donne lieu à une ondulation de $\frac{1}{600}$ de seconde et qu'il existe également une période d'inexcitabilité relative, analogue à la période réfractaire du phénomène cardiaque ou à celle du centre nerveux. Par l'étude de la traînée persistante laissée sur la rétine bien immobilisée par un petit objet très lumineux et par la constatation des cannelures équidistantes dans cette traînée. Charpentier a mis en évidence les ondulations d'excitabilité de la rétine.

Le mécanisme de ce genre de phénomènes appartient au vaste type de mécanismes consistant dans les *perturbations brusques exercées par une cause instantanée, ou par une suite intermittente de telles causes, sur le cours naturel d'un phénomène déjà existant*. Le rôle de l'élément descriptif sera joué par l'élément respectif dont les grandeurs des sauts brusques qui suivent immédiatement l'excitation, mesureront le degré d'excitabilité (par exemple la grandeur de la contraction ou du relâchement, dans quel cas l'excitabilité serait mesurée par la hauteur de secousse). Les rôles de causes instantanées seraient joués soit par les excitations directes, soit par les réactions qu'elles provoquent, par un processus physiologique, dans les organes excités.

Dans le cas d'une seule cause instantanée (une seule impulsion) l'effet de celle-ci sera très sensible ou insensible, avec toutes les gradations entre les deux extrêmes, suivant l'état du phénomène lui-même, à l'instant où la cause apparaît brusquement, ou d'une manière plus précise, suivant qu'à l'instant de l'apparition de la cause instantanée l'inertie de l'élément, dans le cours naturel du phénomène, est de même sens que

l'impulsion, ou bien de sens contraire, et surtout suivent la grandeur relative de l'inertie à cet instant. Il en sera de même pour chacune des causes intermittentes, dans la suite, avec cette différence, toutefois, que pour chacune de ces causes, le phénomène présentera comme son cours naturel celui qu'il suit après l'impulsion précédente. Les impulsions égales entre elles, mais agissant aux moments différents, trouveront ainsi un terrain d'action tout différent d'un instant à un autre ; les effets individuels, les perturbations brusques qu'elles introduiront instantanément dans le cours naturel du phénomène, différeront aussi suivant le moment où elles apparaîtront. L'excitabilité de l'organe considéré étant mesurée par ces perturbations brusques, la période réfractaire sera la phase où l'effet de l'impulsion, en vertu du terrain même de son action, est insensible ; la période de la grande excitabilité sera la phase de l'effet maximum.

Lorsque les impulsions successives sont inégales, le diagramme de l'excitabilité peut affecter des formes extrêmement variées suivant les grandeurs relatives et le sens de ces impulsions, ainsi que suivant la manière dont elles sont espacées. Dans le cas où, le phénomène suivant un cours naturel rythmique, les impulsions sont de sens toujours contraire à la vitesse de changement de l'élément descriptif à l'instant où elles apparaissent, et d'autant plus intenses que la vitesse est plus grande, la diagramme peut se réduire à une courbe oscillante à oscillations très amorties, dont un nombre restreint sera sensible ; les impulsions étant convenablement réglées d'après ces vitesses, le diagramme peut se réduire à une courbe à une seule oscillation, après laquelle elle se confond sensiblement avec une droite parallèle à l'axe des temps,

Le diagramme de l'excitabilité du centre nerveux présente précisément une telle allure. Le mécanisme du phénomène appartiendrait vraisemblablement à un pareil type ; les causes intermittentes réactives, mises en jeu par les excitations directes elles-mêmes, seraient de sens et d'intensités inégales, de sens constamment contraire à celui de la vitesse de variation de l'élément descriptif et d'intensités d'autant plus fortes que les modifications de l'élément sont plus considérables. MM. Richet et Broca, ont en effet, trouvé que toute excitation du centre nerveux produit, en même temps, par un processus physiologique, dont le siège serait la substance grise, une impulsion réactive, s'opposant à chaque instant aux modifications que l'excitation tend à produire, et d'autant plus forte que ces modifications sont elles-mêmes plus considérables. La suite intermittente de telles impulsions réactives pourrait jouer le rôle de celle prévue dans le schéma. Leur existence est, d'ailleurs, rendue vraisemblable par le phénomène du « bruit musculaire », découvert par Helmholtz : quand on tétanise un muscle au moyen d'un courant électrique interrompu par un diapason, on entend, en auscultant le muscle, le son du diapason, ce qui montrerait l'existence dans le muscle de contractions et de relâchements successifs, accordés avec la cause excitatrice. Or, quand un muscle est tétanisé volontairement, il rend un son, et Helmholtz a montré qu'on entendait ainsi le premier harmonique d'une oscillation de vingt périodes par seconde. Le muscle s'accordant (bruit musculaire) avec la période de l'excitant, cette période est très vraisemblablement d'origine cérébrale, ce qui, en même temps, rend vraisemblable l'existence effective des causes réactives C prévues par le schéma.

Le rôle physiologique que M. Broca attribue à ces

impulsions réactives dans la production des actes volontaires est particulièrement intéressant. Ce rôle consisterait à raccourcir autant que possible l'intervalle de temps nécessaire pour qu'une ondulation, produite par une impulsion dans un acte volontaire, s'amortisse jusqu'à la mesure où elle deviendrait insensible, et à préparer ainsi le terrain à l'action d'une nouvelle impulsion volontaire, pour que celle-ci soit plus efficace, sans perturbations provenant de l'impulsion antérieure, et cela le plus tôt possible après elle. Le type de rôle serait le même que celui des forces électromotrices instantanées, variables en sens et en intensité, que, suivant la « méthode des signaux bridés » de Sir W. Thomson, on doit constamment envoyer dans un câble pour raccourcir le temps mis par le système récepteur électrique très amorti pour revenir au zéro et pour le rendre ainsi capable d'une nouvelle réception dans le temps le plus court. Un procédé analogue est, d'ailleurs, employé pour ramener le galvanomètre le plus vite possible au zéro et l'y arrêter.

Il se pourrait qu'on eût un mécanisme d'un type semblable dans l'action des vaccins sur le cours de certaines maladies microbiennes, type dans lequel l'efficacité du vaccin varierait, d'une manière qui se laisserait prévoir, avec le moment où la vaccination a été faite. Il serait même possible que l'étude plus approfondie de la question aboutît à des particularités pratiquement intéressantes, comme le serait, par exemple, la forme de la courbe d'efficacité du vaccin au cours de la maladie, permettant de déterminer l'époque de la plus grande efficacité, les déplacements de cette époque dans des circonstances déterminées, etc.

VII. — ACTION D'UNE CAUSE SECONDAIRE SUR LE COURS
D'UNE MALADIE MICROBIENNE

L'allure d'une maladie microbienne serait à considérer, dans ses grands traits comme contre-balancement et lutte, de deux causes principales : l'une impulsive X_1 , dont le rôle serait joué par la virulence des microbes pathogènes, l'autre dépressive X_2 , dont le rôle serait joué par la fonction phagocytaire des microphages ou macrophages. Les maladies infectieuses aiguës seraient caractérisées par l'absence de la fonction phagocytaire des microphages ; les maladies chroniques apparaissent comme une altération et une déviation de la fonction phagocytaire des macrophages. L'immunité serait caractérisée par l'activité très intense des phagocytes, la réceptivité par leur inaction. Entre ces deux extrêmes, il y a une gradation continue des activités à laquelle correspond la gradation de l'allure de la maladie elle-même.

Une cause secondaire C (une thérapeutique, un vaccin, un changement du régime nutritif, une influence du milieu) peut exercer : 1° une action C_1 sur la cause impulsive X_1 ; 2° une action C_2 sur la cause dépressive X_2 . Chacune de ces deux actions peut être *renforçante*, *affaiblissante* ou *indifférente* par rapport à la cause directe X_1 ou X_2 , et la manière dont elles agiront sur le cours de la maladie se prête aux combinaisons suivantes (v. tableau, p. 162) :

De ces neuf combinaisons, seules possibles, il y en a une à action résultante insensible, deux à action incertaine, trois à action aggravante et trois à action atténuante. On réaliserait ce schéma d'une foule de manières dont on trouve des exemples concrets dans la clinique et dans l'expérimentation.

MÉCANISME ET ALLURE DE PHÉNOMÈNES CONCRETS

Caractère de la cause C		Action résultante de la cause C sur le cours de la maladie
Par rapport à X_1	Par rapport à X_2	
impulsive	dépressive	aggravante
dépressive	impulsive	atténuante
impulsive	impulsive	incertaine
dépressive	dépressive	incertaine
impulsive	indifférente	aggravante légère
dépressive	indifférente	atténuante légère
indifférente	dépressive	aggravante légère
indifférente	impulsive	atténuante légère
indifférente	indifférente	insensible

Les données qualitatives sur les grandeurs relatives de l'intensité des actions C_1 et C_2 ou sur le mode de leurs variations au cours de la maladie (le fait, par exemple, que l'une d'elles est plus forte que l'autre, que l'une croît ou diminue plus fortement que l'autre, que l'une d'elles présente des sauts brusques, des intermittences, des oscillations, qu'elle a un régime asymptotique, etc.) conduirait à des connaissances plus précises sur l'allure de celle-ci. Remarquons, par exemple, que dans la troisième combinaison, où le résultat final apparaît comme incertain, il peut y avoir des avantages à *renforcer* à la fois les deux actions C_1 et C_2 (ce qui revient à renforcer à la fois la virulence des microbes et la fonction phagocytaire) : on rendra la lutte plus active et il peut alors arriver que les phagocytes, inertes dans une lutte peu vive, l'emportent sur la virulence des microbes lorsqu'ils seront stimulés par une lutte très active.

Pour un grand nombre de causes C les actions C_1 et C_2 ne changent pas de signe au cours du phénomène et sont toujours de *même sens*, quelle que soit la dose de leur porteur. Il y a, cependant, des causes où une telle action *change de signe* lorsque cette dose augmente.

C'est ainsi que les solutions faibles (0,002 o/o) de quinine exaltent le pouvoir phagocytaire (action impulsive par rapport à la cause X_2), tandis que des solutions cinquante fois plus fortes produisent l'effet opposé (action dépressive par rapport à la cause X_2).

Des mécanismes semblables au précédent interviennent dans une foule de phénomènes de toutes natures concrètes. Citons en l'un des plus simples : l'influence de la chaleur sur une horloge graissée. La durée de l'oscillation augmentant avec la longueur de la tige du pendule et diminuant avec elle, il semblerait que l'élévation de la température, augmentant cette longueur, devrait retarder l'horloge, et que l'abaissement de la température devrait la faire avancer. Or, c'est ordinairement le contraire qui se produit. Quelle en est la raison ? C'est que la chaleur joue le rôle d'une cause secondaire, influant à la fois sur deux facteurs déterminants du phénomène : la longueur du pendule et la fluidité des huiles qui servent au graissage. Avec le froid, la tige se raccourcit, ce qui aurait bien pour l'effet de raccourcir la durée des oscillations et de faire avancer l'horloge. Mais le froid agit en même temps sur la fluidité des huiles qui s'épaississent et offrent une plus grande résistance au mouvement ; il en résulte un effet de retard, plus sensible que celui d'avance dû au raccourcissement de la tige. C'est l'inverse qui se produit lorsque la température s'élève : la tige s'allonge et la fluidité augmente, ce qui fait avancer l'horloge. Mais cela ne subsistera qu'autant que la température n'atteint pas une certaine limite ; cette limite dépassée, le degré de lubrification et la résistance des huiles ne varieront plus sensiblement, tandis que la tige s'allongera de plus en plus et l'influence de cet allongement finira par l'emporter sur celle de la résistance des huiles. L'influence de la chaleur sur l'hor-

loge changera donc de signe en la faisant retarder au lieu de la faire avancer.

Ce dernier fait est analogue aussi au fait expérimental connu : si l'on aimante un fil tordu tandis qu'il est sous l'action du poids de torsion, sa torsion croît pour les petites forces magnétisantes et décroît pour les grandes. De même, si l'on tord un barreau d'acier tandis qu'il est sous l'action de la force magnétisante, son aimantation croît pour les faibles torsions, et diminue pour les fortes.

D'une manière analogue, l'élévation de la température jusqu'à une certaine limite augmente la sensibilité d'un muscle excité (mesurée par la grandeur de contraction) et accélère le retour à l'état primitif, mais au-delà de cette limite, la sensibilité et la vitesse du retour sont toutes deux diminuées.

VIII. — MÉCANISME DES VARIATIONS DE LA PRESSION
ET DE LA VITESSE DANS LA CIRCULATION DU SANG

Le mécanisme se laisse ramener au type suivant : *phénomène à deux éléments descriptifs u_1 et u_2 , variant simultanément sous l'action de deux causes ; l'une X_1 affectée d'une tendance à faire varier tous les deux éléments à la fois dans un même sens, celui dans lequel varie elle-même, et l'autre X_2 affectée d'une tendance à faire varier l'un des éléments suivant le sens dans lequel elle varie, et le second élément dans le sens contraire.*

C'est précisément le quinzième schéma du chapitre II et les rôles composant celui-ci sont répartis de la manière suivante : les éléments descriptifs sont la pression u_1 et la vitesse u_2 du sang ; leurs variations sont dûes à l'action combinée de deux causes tantôt de même sens, tantôt

antagonistes, suivant l'élément auquel elles sont applicables : la force impulsive du cœur (cause X_1) qui pousse le sang avec plus ou moins de force, et la résistance (cause X_2) dûe à l'action modératrice des petits vaisseaux contractiles qui, suivant leur resserrement plus ou moins énergique, retiennent le sang dans les artères ou le laissent facilement passer dans les veines. La cause X_1 est affectée d'un caractère impulsif par rapport aux deux éléments u_1 et u_2 à la fois ; la cause X_2 est impulsive par rapport à u_1 et dépressive par rapport à u_2 .

Ceci étant, appliquons au phénomène les conséquences d'une telle répartition de rôles, impliquées dans le quinzième schéma, et qui sont les suivantes :

1° Toutes les fois que la cause X_1 restant normale, la cause X_2 subira un *affaiblissement*, l'élément u_1 *décroîtra* et l'élément u_2 *croîtra*. Appliqué au phénomène, ce fait traduit par les faits concrets suivants constatés expérimentalement (Marey) :

a) La section de la moelle épinière à la région occipito-atloïdienne (ce qui équivaut à la suppression de l'action des nerfs vaso-moteurs, par le relâchement des vaisseaux, et rend plus facile le passage du sang des artères aux veines) imprime à la circulation une rapidité extraordinaire (croissance prévue de l'élément u_2 comme effet de l'affaiblissement de la cause X_2),

b) Dans les artères coronaires, on voit se produire une augmentation de la vitesse du sang au moment de la diastole du ventricule (car à ce moment la partie intramusculaire de ces vaisseaux, cessant d'être comprimée par l'effort des muscles, se laisse plus facilement traverser par le sang ; on a donc encore la croissance prévue de u_1 , comme effet de l'affaiblissement de la cause X_2).

2° Toutes les fois que, la cause X_2 restant normale, la

cause X_1 subit un *renforcement*, les éléments u_1 et u_2 *croissent* tous les deux à la fois. Ce fait, se traduit par les faits expérimentaux suivants : (Marey).

a) La section des pneumogastriques augmente fortement la vitesse du sang et la pression dans les artères (une telle section augmente la fréquence des battements du cœur, c'est-à-dire renforce la cause X_1 , ayant comme effet prévu la croissance simultanée de u_1 et u_2);

b) La strychnine, en renforçant la force impulsive du cœur, accroît par cela même la vitesse et la pression du cœur.

3° Toutes les fois que, la cause X_2 restant normale, la cause X_1 subit un *affaiblissement*, les éléments u_1 et u_2 *décroissent* à la fois. C'est, par exemple, ainsi qu'un rétrécissement aortique (équivalent à une diminution de la force impulsive du cœur) diminue la vitesse du sang et l'amplitude des variations dans les carotides.

4° Toutes les fois que, la cause X_1 restant normale, la cause X_2 subit un *renforcement*, l'élément u_1 *croîtra* et l'élément u_2 *décroîtra*. Ce qui signifie que tout renforcement de la résistance, la force impulsive du cœur restant normale, est accompagnée d'une augmentation de la pression du sang et de la diminution de sa vitesse.

Les conséquences réciproques, prévues par le schéma général en question, se traduisent par les faits concrets suivants, qui peuvent avoir une importance particulière pour la diagnostic des troubles dans les organes de la circulation :

1° La *croissance* simultanée de la vitesse et de la pression du sang est le signe révélateur du *renforcement* de la force impulsive du cœur ;

2° La *décroissance* simultanée de la vitesse et de la pression du sang est le signe révélateur de l'*affaiblissement* de cette force ;

3° La *croissance* de la pression et la *décroissance* simultanée de la vitesse sont les signes révélateurs du renforcement de la résistance.

4° La *décroissance* de la pression et la *croissance* simultanée de la vitesse sont des signes révélateurs de l'*affaiblissement* de la résistance.

Le sens des variations de la pression et de la vitesse du sang peut être fourni directement par les appareils enregistreurs. Lorsque, par exemple, sur le double tracé des variations simultanées de ces deux éléments, on constate que la courbe des vitesses s'abaisse, tandis que celle des pressions s'élève, c'est le signe révélateur qu'un obstacle à l'écoulement du sang a dû se produire. La valeur médicale de constatations pareilles est évidente. Est-il besoin d'ajouter que toute la cardiographie, à l'état physiologique normal et dans les maladies, se laisserait vraisemblablement ramener dans ses grands traits à des types de mécanismes pareils ?

IX. — INFLUENCE DES OBSTACLES SUR L'ALLURE DE LA RESPIRATION.

Pour que la fonction d'hématose conserve sensiblement son état normal, il y a dans la fonction respiratoire une tendance à la fixité du volume d'air mis en mouvement en un intervalle de temps donné. Ceci équivaut, au point de vue de type de mécanisme, à l'existence d'une cause fictive X, affectée d'une tendance régulatrice par rapport aux variations d'un élément descriptif *u*, cette tendance s'opposant aux variations de la *totalité* de cet élément dans l'intervalle de temps considéré (T). Les variations de l'élément lui-même, dont le rôle est joué par le débit de l'air dans l'unité de temps, étant *oscillantes*

en vertu du caractère rythmique de la respiration même, et la totalité de l'élément dans l'intervalle T ayant pour mesure la grandeur de l'aire totale des oscillations contenues dans T, l'effet de la cause X, dans le cas où les circonstances anormales n'entravent pas sa mise en jeu, se traduisent par une sorte de compensation entre l'*augmentation des amplitudes* et la *diminution de la fréquence* des oscillations, et inversement (Marey).

Ainsi, l'étroitesse des voies respiratoires, *diminuant* la fréquence des respirations, en *augmentera* l'amplitude. Il en est de même lorsqu'on oppose un obstacle au passage de l'air, soit dans un sens (celui de l'expiration ou celui de l'inspiration) soit dans les deux sens. Au contraire, la compression extérieure de la poitrine (obtenue, par exemple en comprimant le tronc avec une large ceinture fortement sanglée) produisant, d'après la nature même de l'obstacle, une grande *diminution* de l'amplitude des mouvements respiratoires, produit, en même temps, une forte *augmentation* de leur fréquence.

Il est probable que les modifications morbides de la contractibilité pulmonaire, qui doivent agir, dans un sens ou dans l'autre, comme obstacles à la respiration, influencent l'allure de celle-ci d'une manière qui se laisserait prévoir par des schémas pareils, rattachés au type de mécanismes correspondant.

X. — MÉCANISME DES VARIATIONS PÉRIODIQUES DE L'INTENSITÉ DU PARFUM DES FLEURS

Le parfum dégagé par les fleurs odorantes présente les variations périodiques d'intensité, correspondant aux alternances du jour et de la nuit, en passant alternativement et périodiquement, par des maxima et des

minima. L'observation a constaté que les émanations odorantes sont renforcées par l'humidité et affaiblies par l'action de la lumière. L'explication du phénomène, dûe à M. Mesnard, se ramène au type simple de mécanismes consistant dans *l'action et le contre-balancement mutuel de deux causes périodiques antagonistes de mêmes périodes*. La cause impulsive serait due à la pression de l'eau dans les cellules, qui tend à refouler au dehors les parfums déjà élaborés, contenus dans l'épiderme de la fleur. La cause dépressive serait la tendance de la lumière à contrarier l'action de l'eau, d'une part comme puissance chimique facilitant la transformation des produits odorants dans la fleur, d'autre part par son action mécanique tendant à affaiblir la pression dans les cellules et à combattre ainsi la turgescence. Ces deux causes se contre-balencent mutuellement et varient périodiquement avec les alternances du jour et de la nuit.

XI. — MÉCANISME DE LA PÉRIODICITÉ VITALE DE
CERTAINS ORGANISMES MARINS (G. BOHN)

Certains animaux du littoral vivent dans une zone qui n'est atteinte par la mer que tous les 15 jours, dans les périodes des grandes marées. Telles sont, par exemple, les *Littorina rudis*, gastéropodes aux coquilles de petite taille, vivipares, qui habitent les rochers supra-littoraux, Pendant les périodes de morte eau, ils subissent une dessiccation progressive qui a pour conséquence l'immobilisation et l'operculation par anhydrobiose ; à cette période de dessiccation, de vie ralentie et confinée, succède une période de vie active déterminée par l'hydratation consécutive au retour de la mer. De jour en jour, à mesure que la mer atteint des

niveaux de plus en plus élevés, successivement les Littorines des divers niveaux, après avoir subi le choc des vagues et l'hydratation, gagnent, par les lignes de la plus grande pente, les régions plus élevées et souvent mieux éclairées, qu'elles quitteront ensuite en redescendant.

Les Littorines présentent ainsi une périodicité vitale, une alternance régulière de vie ralentie et de vie active, dont la période est de 15 jours. Cette périodicité est mise en évidence par les réactions des Littorines vis-à-vis des chocs, de la pesanteur, de la lumière, etc. Ainsi, pendant les grandes marées, la moindre secousse provoque les mouvements de l'animal, tandis que, pendant la morte eau, celui-ci présente une grande inertie. De même, pendant la morte eau, le géotropisme et le phototropisme deviennent progressivement négatifs; pendant les grandes marées, au contraire, le géotropisme et le phototropisme deviennent progressivement positifs. Ces variations des tropismes, synchrones des oscillations de quinzaine de la mer, sont liées aux variations de l'hydratation et sont présentées précisément par des animaux supra-littoraux qui subissent alternativement des dessiccations et des hydratations.

Dans la zone du balancement moyen de la mer, les Littorines présentent les mouvements oscillatoires intéressants, synchrones de la quinzaine. Ainsi, lorsqu'on place une Littorine dans un milieu à éclaircissement invariable, sur un plan horizontal, M. Bohn a constaté d'abord que, en un point quelconque, et en un instant donné, le mollusque s'oriente rapidement suivant une certaine direction. Mais en relevant d'heure et en heure la ligne d'orientation d'une Littorine vers un point déterminé. M. Bohn a remarqué que cette ligne oscille autour de ce point, s'inclinant alternativement de chaque

côté d'une position moyenne. Les oscillations sont synchrones des mouvements de la marée, et ce synchronisme est maintenu même lorsque l'animal est soustrait depuis un certain temps au va-et-vient de la mer ; seule l'amplitude diminue progressivement. L'une des positions extrêmes correspond à l'état de dessiccation maxima, l'autre à l'état d'hydratation maxima. La durée et l'amplitude des oscillations varient suivant l'habitat. Les animaux de la zone supra-littorale (par exemple *Littorines rudis*) présentent deux sortes d'oscillations superposées, les unes ayant pour période environ 15 jours, les autres environ 13 heures ; les animaux des autres zones (par exemple *Littorina littorea*) ne présentent que la seconde sorte d'oscillations. De plus, à mesure que l'on descend à des niveaux inférieurs, c'est-à-dire à mesure que les variations de l'hydratation sont moins prononcées, l'amplitude diminue.

L'explication biologique que M. Bohn a donné de ces phénomènes oscillatoires (action variable de la lumière sur un protoplasma plus ou moins hydraté) rentre dans le type général de mécanismes consistant dans la *superposition d'actions simultanées de deux causes périodiques différentes, tendant chacune à imprimer au phénomène une série d'oscillations qui lui sont propres*. L'une de ces deux causes serait l'action variable de la lumière et l'autre l'hydratation variable au cours du temps. Cette dernière cause présente les oscillations synchrones de la marée combinées avec les oscillations de la quinzaine ; les variations périodiques de la première cause sont également la combinaison de ces deux sortes d'oscillations, mais combinées aussi avec celles qui sont dues aux alternances du jour et de la nuit.

XII. — MÉCANISME DES RETOURS PÉRIODIQUES
DES CRISES AGRICOLES

D'après la curieuse hypothèse de Jevons, la périodicité constatée des crises agricoles générales serait en corrélation étroite avec la périodicité des apparitions de troubles dans les taches du soleil, concordance mise en évidence par les données statistiques. Ces troubles, consistant apparemment dans les agrandissements et les rétrécissements périodiques des taches du soleil, modifient les conditions météorologiques de l'atmosphère. L'état météorologique influant sur les récoltes, ces dernières se ressentent de cette perturbation et ne présentent pas une production équivalente à la production moyenne ; le plus ou moins d'abondance des récoltes affecte cependant, pour sa part, la marche générale des affaires dans un pays. Les retours périodiques des crises agricoles seraient, d'après cette hypothèse, dus à l'*influence d'une cause indirecte périodique*. Le phénomène serait donc dû à un mécanisme semblable à celui du phénomène des marées, où le rôle des causes périodiques est joué par les composantes de l'attraction luni-solaire ; ou bien semblable au mécanisme XV, où le rôle des causes périodiques est joué par la tendance de la lumière à contrarier l'action de l'eau, et par la pression de l'eau dans les cellules de la fleur.

XIII. — MÉCANISME DE MULTIPLICATION RYTHMIQUE
DES ESPÈCES ORGANIQUES. — (SPENCER)

Lorsqu'une saison a été favorable à une espèce, ou qu'une espèce qui lui faisait la guerre a diminué, cette espèce devient plus nombreuse qu'à l'ordinaire; mais bientôt, certaines influences destructives commencent à croître. S'il s'agit d'une plante, la supposition même qu'elle est en grande abondance implique qu'elle occupe les endroits où elle peut prospérer, et que, diminuant toujours la surface où sa multiplication peut continuer, elle oppose une entrave à une multiplication ultérieure, c'est-à-dire que les semences, ne parvenant pas à jeter des racines, ont une plus grande mortalité. Ensuite, à cette entrave à la continuation de l'accroissement, s'ajoute une cause *dépressive* destructive: les êtres vivants qui subsistent aux dépens de l'espèce, les larves, les oiseaux, les herbivores augmentent aussi. S'il s'agit d'un animal dont l'espèce est devenue plus nombreuse, les subsistances deviennent plus rares, à moins que, par une coïncidence exceptionnelle, il ne se produise un surcroît simultané et proportionnel d'animaux et des plantes qui lui servent de pâture. Les ennemis aussi, soit bêtes de proie, soit parasites, ne tardent pas à se multiplier. Aussi, chaque espèce d'organisme qui existait auparavant en nombre à peu près normal, ne saurait augmenter sans que les causes dépressives, réactives ou destructives, se mettent aussi à augmenter. Ces causes dépressives doivent augmenter jusqu'à ce que l'accroissement de l'espèce soit arrêté. La concurrence pour les lieux où l'espèce peut prospérer, si elle est végétale, ou se nourrir, si elle est animale, doit devenir plus intense à mesure que l'accroissement excessif

de l'habitat progresse, jusqu'à ce que la limite ou la mortalité surpasse la reproduction soit atteinte. Comme, en même temps, les ennemis se multiplient avec une rapidité qui ne tarde pas à les mettre de niveau avec l'augmentation de leur proie, l'action dépressive qu'ils exercent contribue à produire un arrêt de l'expansion de l'espèce, beaucoup plus tôt que la pression de la population ne l'eût causé si elle eût agi seule. De plus, si l'augmentation de l'espèce ne rencontrait pas d'autre cause dépressive que la cause *réactive* qui résulte de la diminution de l'espace où elle peut s'étendre, ou de la quantité des substances alimentaires, la cause qui en favoriserait l'accroissement la porterait jusqu'à la limite posée par cette cause réactive, et l'y laisserait; le nombre de ses membres serait accru et demeurerait permanent. Mais les causes dépressives destructives que le développement de l'espèce a provoquées empêcheront ce résultat. En effet, dès que l'espèce augmente, le nombre de ses ennemis commence aussi à augmenter, souvent sensiblement en progression géométrique, et, à moins qu'il ne se trouve lui-même arrêté de la même manière, il croîtra jusqu'à ce qu'il existe un excès d'ennemis. En conséquence, la mortalité de l'espèce doit en excéder la reproduction, c'est-à-dire que le décroissement de l'espèce diminuera, jusqu'à ce que l'habitat qu'elle occupe ait une population minimum, que ses ennemis en nombre excessif soient raréfiés par l'inanition, et que les causes dépressives destructives se trouvent réduites au plus bas. Cet état est le point de départ d'un nouvel accroissement et le phénomène recommencera. (Spencer).

Le phénomène se laisse donc ramener au type suivant de mécanismes : *changement d'un élément sous l'action de trois causes : 1° une impulsive, commençant à croître*

et subissant au bout d'un certain temps un arrêt de croissance ; 2° une réactive, mise en jeu par le fait même de croissance de l'élément, croissant ou décroissant en même temps que l'élément ; 3° une cause dépressive active, subissant une croissance retardée par rapport à celle de l'élément et d'autant plus forte que celle-ci est plus intense. Le rôle de l'élément changeant est joué par la quantité d'individus de l'espèce considérée dans la région considérée ; le rôle de cause impulsive est joué par la tendance de l'espèce à se multiplier, celle de la cause réactive par les entraves à la multiplication provenant de la diminution de l'espace et de la nourriture, et celle de cause dépressive active par l'ensemble des causes destructives provenant des ennemis de l'espèce.

L'élément, sous l'action de la cause impulsive croissante, *commencera à croître* jusqu'au moment où cette croissance se trouvera arrêtée par les deux autres causes dépressives, réactive et active, également croissantes mais qui ne pourront contrebalancer la cause impulsive qu'au bout d'un certain temps. Ce moment arrivé, la croissance de l'élément *subira un arrêt* après lequel, l'ensemble des deux dernières causes l'emportant sur la première, il se mettra à *décroître* jusqu'au moment où l'ensemble des causes dépressives, également décroissantes après un certain temps, se trouvera de nouveau contre-balancé par la cause impulsive toujours existante et ne descendant pas au-dessous d'une certaine limite. L'arrêt de décroissance que subira, de ce chef, l'élément, marquera le point de départ *d'une nouvelle croissance*, si les circonstances sont favorables, et ainsi de suite. Le phénomène présentera ainsi un caractère rythmique.

XIV. — MÉCANISME DES OSCILLATIONS DES PHÉNOMÈNES ÉCONOMIQUES

Sous l'action régulatrice de l'offre et de la demande, et lorsque cette action n'est pas troublée par des causes extraordinaires ou accidentelles suffisamment intenses, le mouvement des échanges suit un cours normal. Tel est le cas des pays où les affaires se traitent au comptant et sont d'une importance restreinte. Il en est autrement dans les pays de grands centres commerciaux et financiers, où l'esprit de spéculation, la tendance à l'enrichissement rapide, ainsi que les facilités particulières, commerciales et financières, dont on dispose, interviennent pour donner une toute autre allure au mouvement des affaires, même sans intervention de causes extraordinaires, anormales et accidentelles. Cette allure devient oscillante : après une phase de prospérité, caractérisée par un intense mouvement d'affaires, par un mouvement très rapide des échanges, par la hausse continue des prix, par l'importance du portefeuille des banques d'émission et de leur encaisse métallique, vient une phase d'arrêt, suivie d'une décroissance rapide, d'une chute qui se traduit par une crise commerciale, financière, industrielle, etc., plus ou moins aigüe, et la suite de cette dernière phase : court arrêt se traduisant par la liquidation, la plupart du temps rapide, des affaires ; et les mêmes événements recommencent dans le même ordre, avec plus ou moins d'amplitude, pour parcourir un cycle semblable. M. Juglar, auquel est due la doctrine de la périodicité des phénomènes économiques, résume ces phases dans le tableau suivant que nous croyons nécessaire de citer pour en tirer le

type de mécanisme fournissant une explication possible du phénomène :

« Une crise ne survient jamais à l'improviste, elle a toujours été précédée d'une période de grande prospérité et d'un grand mouvement d'affaires qui n'a pu avoir lieu sans une progression pour ainsi dire continue de la hausse. La crise serait donc l'arrêt de la hausse des prix ; c'est-à-dire le moment où l'on ne trouve plus de nouveaux preneurs. Le mouvement des échanges, jusqu'ici très rapide, très avantageux, tout-à-coup arrêté, ceux qui espéraient vendre, et surtout les derniers acheteurs, ne savent plus que faire de leurs marchandises ; ni au dedans, ni au dehors on ne peut les placer, et, cependant, il faut faire face aux échéances. On se précipite sur les banques pour obtenir de nouveaux moyens de crédit, pour proroger les échéances par des renouvellements ; afin de répondre aux demandes, le portefeuille du banquier, déjà rempli pendant la période de hausse, prend des proportions de plus en plus considérables. Pour l'intérieur, on obtient ainsi un sursis, on maintient artificiellement les prix, sans affaires nouvelles ; mais pour l'étranger, il n'en est pas de même. On est acheteur de matières premières qu'il faut payer, et comme les produits fabriqués ne sont plus acceptés au prix où l'on les tient, après avoir mis en œuvre tous les moyens de crédit, il faut, cependant, remplacer ces produits pour arriver à la compensation des affaires engagées. Or, il ne reste qu'une marchandise qui, marchandise comme les autres par la plus grande stabilité de sa valeur et la facilité de son transport, est toujours acceptée sur tous les marchés, ce sont les métaux précieux, l'or et l'argent. On va donc les faire intervenir sur une grande échelle et changer ainsi le rôle qu'ils remplissent habituellement alors qu'ils ne servent que de solde pour les

grandes opérations commerciales ou pour le comptant. Ce ne sont plus des moyens de crédit que l'on demande aux banques, des billets ou un compte ouvert pour opérer des virements ou des compensations, ce sont des espèces métalliques ou plutôt des lingots pour faire des remises à l'étranger. Les réserves métalliques des banques qui, depuis le début de la période prospère, n'ont cessé de baisser, sont déjà tellement menacées et tellement réduites que la suspension des paiements est imminente et inévitable, si l'on ne prend pas des mesures pour sauvegarder l'encaisse. Autrefois, on ne savait que faire, et la suspension était toujours inévitable; depuis peu de temps, on sait la prévenir par la hausse de l'escompte. Privée de crédit, ou ne pouvant plus en obtenir qu'à des conditions aussi dures, la spéculation, mal engagée, doit liquider et livrer en baisse des produits qu'elle a achetés en hausse. De là, une situation des plus critiques. Tout crédit, toute confiance a disparu, c'est un sauve-qui-peut général : il ne s'agit plus d'affaires à terme, c'est du comptant que l'on réclame pour se liquider, et comme toutes les rentrées sont douteuses, on cherche partout à se créer des disponibilités, ce qui augmente encore le nombre des demandes dont les banques sont assiégées. »

La crise ainsi déclarée, période relativement courte, mais très apparente par les désastres qu'elle cause, est toujours précédée d'une période plus longue pendant laquelle se montrent et s'accusent divers symptômes révélateurs, dont le plus caractéristique, le plus décisif, est l'accroissement insolite du portefeuille des banques et une forte diminution simultanée de leur encaisse métallique. Elle est toujours suivie par la liquidation plus ou moins prompte, après laquelle les mouvements recommencent dans le même ordre. Les crises sont, en

général, universelles et affectent, presque en même temps, tous les grands centres commerciaux du globe ; elles revêtent parfois le caractère d'un véritable crach, comme l'a été celui de 1882. Leurs périodes de retour varient dans des limites assez resserrées. Elles amènent une dépression économique qui retentit sur toute une série de faits sociaux avec plus ou moins d'intensité. (A. Liessé).

Cherchons à discerner le mécanisme du phénomène et son type, admissible au point de vue auquel nous nous plaçons.

La marche des affaires suivrait son cours normal si elle n'était astreinte à d'autres causes que l'action régulatrice de l'offre et de demande. Mais dans les grands centres d'affaires survient d'abord une importante *cause impulsive* : tendance à augmenter de plus en plus le mouvement d'affaires, due aux facteurs d'ordre psychologiques (esprit de spéculation, espoir de s'enrichir rapidement, entraînement par la marche et la prospérité des affaires) et stimulée par les facilités dont on dispose lorsque les affaires marchent (facilités pour les vendeurs de trouver des acheteurs en abondance ; facilités du portefeuille offertes par les banques).

« L'esprit de spéculation qui, dans la phase de grande prospérité, pousse les industriels, les commerçants, les financiers, tous les chefs, petits et grands, de l'armée économique, à estimer plus qu'ils ne valent, les titres cotés sur les marchés, paraît bien être comme une force invisible par laquelle ils sont entraînés malgré eux vers une hausse indéfinie des prix. A ce moment, aucune raison, si forte qu'elle soit, n'a prise sur leur esprit. L'expérience d'hier ne les assagit pas ; les avertissements sont sans effet. Les mêmes hommes, qu'une crise précédente a ruinés, se ruent à l'assaut des hauts cours, dans l'espoir, cette fois, que la chance sera pour eux.

MÉCANISME ET ALLURE DE PHÉNOMÈNES CONCRETS

La tendance à la hausse se propage comme une épidémie. La foule suit inconsciente, entraînée par la force acquise et par l'esprit d'imitation. Les personnes mieux placées pour voir le mécanisme du mouvement économique n'ignorent toujours pas quelle sera la fin d'une telle poussée. Elles pensent néanmoins pouvoir se retirer à temps de l'engrenage où les a entraînées l'ardeur de la spéculation. L'attrait du hasard, si puissant sur beaucoup d'esprits, la possibilité de s'enrichir rapidement, tout en évitant, au bon moment, la crise menaçante, les tient et les hypnotise » (A. Liesse).

La cause impulsive, *croissante* dans la phase de prospérité, pousse ainsi à une exagération anormale, à une exaltation à la hausse, ayant, au bout d'un certain temps, comme conséquence la difficulté pour les vendeurs de trouver de nouveaux preneurs, avec tous les faits caractéristiques de l'arrêt des affaires. C'est à ce moment que commence à se faire sentir une nouvelle cause qui, jusque là peu sensible, va prendre un caractère dominant et donner au phénomène une impulsion décisive en accélérant la marche fatale vers la crise. C'est la *cause dépressive retardée*, jusqu'alors continuellement *croissante*, provenant des accumulations des échéances résultant des opérations à terme engagées dans des transactions *antérieures*. Dans la phase de prospérité, les transactions entraînaient des obligations auxquelles il n'y avait lieu de faire face qu'après un intervalle fixe de temps ; l'importance des obligations est proportionnée à celle des transactions correspondantes, c'est-à-dire à l'état du phénomène, non pas tel qu'il est actuellement, mais tel qu'il a été à une époque antérieure, au moment où la transaction avait été conclue, en pleine prospérité croissante des affaires. Cette cause, en vertu du *retard* qu'elle présente par rapport à la cause impul-

sive, dont elle peut être considérée comme une sorte de réaction retardée, devient considérable juste au moment où la cause impulsive subit un arrêt, et continuera à croître encore pendant un certain temps, pendant que la cause impulsive, après l'arrêt subi, se mettra, de son côté, à décroître. La superposition des deux causes, impulsive décroissante et dépressive croissante, aura pour l'effet une chute rapide de la marche des affaires, entraînant avec elle tous les faits caractéristiques par lesquels se traduit la crise. La liquidation plus ou moins rapide met un terme à cet état de choses et après une convalescence, le phénomène recommence une période nouvelle analogue à la précédente.

En résumé : le phénomène se trouverait expliqué par un mécanisme rentrant dans le type suivant : *action de deux causes, l'une impulsive, commençant par croître et subissant ensuite un arrêt de croissance, l'autre dépressive à retard et à croissance proportionnée à celle de l'effet de la cause impulsive correspondant à une époque antérieure pendant laquelle cette dernière cause était en état de croissance.*

Comme on le voit, le mécanisme serait semblable à celui par lequel M. Sagnac explique l'allure oscillante de l'effet de l'action photochimique de la lumière sur la couche sensible. Le rôle de cause impulsive, joué dans ce dernier mécanisme par la tendance directe de la lumière à modifier le sel d'argent de la couche, serait ici joué par l'ensemble de facteurs poussant à la spéculation ; le rôle de la réaction de la couche, produisant, avec un certain retard, une modification inverse de celle-ci, serait joué dans le phénomène économique par le fait d'accumulation des échéances mettant en jeu, avec un certain retard, les obligations provenant des opérations antérieures à terme.

XV. — MÉCANISME DES PROCESSUS NORMAUX ET PATHOLOGIQUES DE PRODUCTION DES ACTES VOLONTAIRES

En schématisant, de la manière précédente, la théorie de M. Ribot de la production des actes volontaires dans ses phases normales et pathologiques, le mécanisme complexe du phénomène apparaît comme rentrant dans le vaste type de mécanismes suivants : 1° *contre-balancement de deux assemblages de causes antagonistes, affectées de tendances impulsives et dépressives à particularités qualitatives connues, les causes impulsives apparaissant subitement et provoquant des réactions et des résistances à tendances qualitativement connues* ; 2° *action [de ces deux assemblages de causes disciplinée suivant un ordre hiérarchique par des facteurs à rôle coordinatif* ; 3° *cette action et cette coordination s'effectuant au sein d'un ensemble de circonstances jouant le rôle de terrain, favorisant ou entravant l'action ou la coordination d'une ou de plusieurs causes, la nature de ce rôle étant également qualitativement connue*. L'action se traduit en un processus normal lorsque les causes impulsives et dépressives varient entre les limites déterminées, lorsque le rôle coordinatif se fait sentir tel qu'il devrait l'être par sa définition même, et lorsque le terrain exerce son rôle de façon que l'action d'une ou de plusieurs causes ne soit pas trop favorisée, de sorte qu'elle dépasse une certaine limite, ni rendue insensible ou impossible. Lorsque toutes ces conditions ne sont pas satisfaites à la fois, le processus entre dans une *phase pathologique*, caractérisée par des anomalies déterminées, soit de causes impulsives, soit de causes dépressives, soit de facteurs à rôle coordinatif, soit du terrain.

Analysons d'abord, d'après M. Ribot, la nature et la répartition de ces divers rôles intervenant dans le mécanisme du phénomène ainsi conçu.

I. — Les rôles de causes sont joués par des tendances motrices rattachées à divers états de conscience. Tout état de conscience, tout sentiment, toute idée, a d'elle-même une tendance à se traduire en acte. Chez les petits enfants, les mouvements sont purement instinctifs, irrésistibles, réflexes ; c'est une telle profusion de mouvements que le travail de l'éducation consistera pendant longtemps à en supprimer ou à en restreindre le plus grand nombre. Plus tard, avec le développement de l'intelligence, apparaissent les désirs, marquant une étape dans le passage de l'état instinctif à l'état où l'on sait ce qu'on veut. A l'état naturel, et tant qu'il est encore pur de tout alliage, le désir tend à se satisfaire immédiatement ; sa tendance à se traduire en acte est immédiate et irrésistible. Enfin, dès qu'une somme suffisante d'expérience a permis à l'intelligence de se former complètement, il se produit une nouvelle forme d'activité ; les idées deviennent les causes du mouvement. A toute idée se trouve rattachée une tendance à se transformer en acte correspondant. L'intensité de cette tendance doit varier considérablement suivant la nature de l'idée : elle peut être *forte, modérée, faible* et même à *peine sensible*.

Tout d'abord, il y a des idées *extrêmement intenses* qui passent à l'acte avec une fatalité, une rapidité presque égale à celle des réflexes. Ce sont les idées qui affectent. L'idée se traduit d'autant plus vite en acte qu'elle évoque plus de sentiments. Il arrive même que l'idée d'un mouvement est à elle seule incapable de le produire, mais si l'émotion s'ajoute, il se produit. Un homme atteint de paralysie ne peut pas mouvoir son bras, quel que soit

l'effort qu'il fasse, tandis qu'on le verra s'agiter violemment sous l'influence d'une émotion causée par l'arrivée d'un ami.

Il y a ensuite des idées à tendance motrice *modérée*; ce sont celles où la conception est suivie d'un acte après une délibération courte ou longue. Les sentiments qui accompagnent les idées de cette espèce sont eux-mêmes modérés. La plupart des idées et des actions qui les suivent, formant le train ordinaire de notre vie, ont été à l'origine accompagnées d'un vif sentiment de plaisir, de curiosité, etc. Maintenant le sentiment primitif s'est affaibli, mais le lien entre l'idée et l'acte est resté : quand elle naît, il la suit. La tendance motrice est devenue plus modérée, mais elle n'a pas disparu et, aidée par l'habitude acquise, elle est capable d'aboutir à l'acte.

Dans les idées abstraites, la tendance motrice est à son *minimum*. Ces idées étant les images des images, de purs schémas créés par nous-mêmes pour fixer et représenter quelque chose de général et de vague, l'élément moteur doit s'appauvrir dans la même mesure que l'élément concret. Il arrive même que la tendance motrice se réduise à cette parole intérieure si faible soit-elle, qui accompagne l'idée, ou au réveil de quelque autre état de conscience, de même qu'une tendance motrice irrésistible très forte, peut aboutir, non pas à un mouvement, mais à la sécrétion d'une glande (par exemple les larmes). La différence entre les gens spéculatifs, vivant dans des abstractions, et les gens pratiques, n'est que l'expression visible et palpable de ces différences d'intensité des tendances motrices des idées abstraites et concrètes. Rappelons encore la différence entre connaître ce qu'il faut faire et le faire effectivement ; entre voir une absurdité et s'en défaire ; entre condamner une passion et s'en

débarrasser. Tout cela s'explique par la tendance motrice, extrêmement faible, de l'idée abstraite réduite à elle-même.

Divers états secondaires, réveillés par des idées, peuvent aussi jouer le rôle de causes impulsives. Tels seraient certains états affectifs : sentiments, émotions, passions, auxquels de très fortes tendances motrices peuvent être rattachées et qui sont souvent de puissants principes d'action. Il suffit de se rappeler à quoi peut entraîner une passion dès qu'elle dépasse le niveau du pur appétit, ou bien une grosse émotion, ou un sentiment intense.

II. — Les rôles de *causes dépressives* sont aussi joués par certains états affectifs. Tous les sentiments ne sont pas des stimulants à l'action ; beaucoup ont un caractère purement dépressif. Ce pouvoir dépressif varie d'une classe de sentiments à une autre. Le *maximum* est atteint dans la terreur, qui peut être considérée comme le type extrême de cette espèce de facteurs. A son plus haut degré, elle anéantit. Un homme brusquement frappé d'une grande terreur est incapable de toute action, soit raisonnable, soit réflexe. L'anémie cérébrale, l'arrêt du cœur amenant quelquefois la mort, la sueur avec refroidissement de la peau, tout indique que l'excitabilité des centres musculaires correspondants est momentanément suspendue par cette puissante cause dépressive. Ce cas est extrême, mais au-dessous on a tous les degrés possibles de crainte, avec tous les degrés correspondants de la dépression (crainte des personnes, des lois, des usages, de Dieu, de l'opinion publique, des conséquences désagréables). On arrête, par exemple, les mouvements de colère chez l'enfant par les menaces, les réprimandes, c'est-à-dire par l'évocation d'un nouvel état de conscience à caractère dépressif, propre à para-

lyser l'action. L'œuvre de l'éducation consiste justement à réveiller des états antagonistes pareils, à caractère dépressif.

III. — Le rôle *coordonatif* est joué par le pouvoir qu'a l'individu de coordonner ses actes entre eux, de diriger les causes impulsives et dépressives dans une direction déterminée, de faire converger leurs actions vers un but déterminé, d'en régulariser l'intensité et le sens dans une mesure appropriée au but, d'arrêter les impulsions inutiles et de modérer celles qui pourraient grossir démesurément, de les maintenir subordonnées les unes aux autres suivant une échelle hiérarchique déterminée et, d'une manière générale, d'introduire l'ordre là où la multitude de facteurs subits, irréguliers, accidentels, ne manquerait pas d'amener le désordre, l'anarchie même. C'est la discipline dans l'armée extrêmement complexe des facteurs luttant dans le processus qui se traduit par le passage à l'acte volontaire.

IV. — Le rôle de *terrain* est joué par le caractère général de l'individu, résultante de cette multitude d'états et de tendances infiniment petites de tous les éléments anatomiques et physiologiques qui constituent un organisme, expression psychologique d'un corps organisé, tirant de lui sa propre couleur et son ton particulier. C'est le terrain où vont s'engager les luttes entre les tendances impulsives et dépressives ; c'est le facteur qui facilitera l'action des uns et entravera celle des autres, qui souvent donnera de la prépondérance à des tendances à peine sensibles et masquera ou rendra inefficace les tendances puissantes. Ce facteur tient une grande place dans le mécanisme du phénomène, comme le terrain de combat entre deux armées ennemies tient grande place dans les mouvements des armées, les modes d'attaque, l'allure du combat et le résultat final.

Les rôles ainsi répartis, le mécanisme de production des actes peut être conçu de la manière suivante :

Faisons apparaître une impulsion quelconque, sous la forme d'une idée paraissant subitement et évoquée, par exemple, par une vision intérieure ou extérieure. L'idée sera accompagnée de sa tendance motrice dont elle est inséparable et qui, s'il n'y avait pas de freins et d'obstacles ferait que cette idée se traduirait immédiatement en acte. Mais l'idée réveille aussitôt d'autres idées avec lesquelles elle est en liaison. Cette liaison se fait par la ressemblance, par les souvenirs, par le contraste, etc. D'autre part, chaque idée évoque un certain état affectif, et chacun de ces états apporte, pour sa part, un élément impulsif ou dépressif. Les éléments impulsifs s'ajoutent à ceux provenant directement des idées ; les éléments dépressifs s'ajoutent entre eux et concourent collectivement à affaiblir ou à annuler l'action des éléments impulsifs.

La forme de la lutte, son allure, sa modération ou sa brusquerie, sa simplicité ou sa complexité, ses péripéties, son résultat final, dépendront des forces antagonistes mises en présence de leur composition qualitative, du degré de coordination et du terrain. Chez l'enfant, le sauvage, l'homme primitif, la composition est très simple : l'armée active se compose d'éléments peu nombreux, mais extrêmement forts, brusques, presque irrésistibles. L'armée opposée est, au contraire très faible, car les éléments qui devraient la composer ne s'obtiennent que par l'éducation ou par une longue expérience de la vie, une attention éveillée, et l'observation intelligente. S'il y a quelque élément dans cette armée, c'est toujours la crainte ou la terreur, évoquée, non pas par la prévision des conséquences de telle ou telle action, mais par quelque chose d'immédiat. Enfin, le terrain lui-

même est très simple, et uni : ce sont, la plupart du temps, les instincts de satisfaire aux besoins animaux. La lutte sera donc courte, simple, brusque et il en sera bientôt décidé : le passage à l'acte est immédiat si l'idée impulsive est plus forte que la crainte, ou bien l'énergie préparée pour ce passage sera dépensée autrement si c'est la crainte qui l'emporte sur l'idée.

Plus l'intelligence est développée, plus longue est l'expérience de la vie, plus complexe est la composition des armées et du terrain. Avec une vie interne suffisamment intense et un caractère général plus complexe, un nombre immense de combinaisons est possible : d'abord, toutes les combinaisons qu'on rencontre chez les natures brutes, chez l'enfant ou le sauvage, mais auxquelles vient s'ajouter une immense diversité de combinaisons d'un ordre plus élevé. Ce sont ces luttes intérieures, avec leurs péripéties et leurs combinaisons, que les poètes de tous les temps ont si souvent dépeintes.

Lorsque ce sont les éléments instinctifs qui l'emportent dans la lutte, on aura des actes automatiques, réflexes. Les actes produits par les sentiments, les émotions, les passions, sont dûs à des éléments un peu supérieurs à ceux de la première catégorie. Les actes réfléchis sont dûs aux éléments d'ordre le plus élevé : à la raison, à des idées abstraites directrices et régulatrices. C'est cette troisième catégorie d'éléments qui introduit la coordination, la subordination, la hiérarchie dans le phénomène. Dans cette catégorie se laissent discerner quelques éléments très intenses, à l'état normal presque infailliblement prédominants, permettant le plus souvent de prévoir ce que l'individu normal fera dans un ensemble de circonstances donné : il suivra les lignes imposées par l'intérêt personnel, ou bien celles procurant la plus grande somme de plaisir avec le moins

possible de douleur, ou bien celles exigeant le moindre effort, ou bien les éléments prédominants seront les idées acquises des convenances, des belles manières, du bon ton, etc.

Dans les cas où un ou plusieurs facteurs présentent des anomalies, la lutte aboutit à des conséquences toutes différentes dont nous indiquerons, à titre d'exemple, quelques cas particuliers intéressants :

1° Supposons l'individu atteint d'un fort *affaiblissement des éléments impulsifs*, par exemple d'un *affaiblissement de la sensibilité* (provenant dans la plupart des cas d'une *dépression générale des fonctions vitales*). La lutte sera considérablement affaiblie, souvent insignifiante et le résultat sera l'indolence, l'inaction. Lorsque cet *affaiblissement* est très prononcé, on aboutit facilement à la *mélancolie* et même à l'*immobilité presque complète* : l'idée ne passe point en acte.

2° Supposons l'individu atteint d'un *grossissement des éléments dépressifs*, avec, par exemple, un *sentiment de crainte grossi outre mesure* et apparaissant sans aucun motif raisonnable. L'ensemble de causes dépressives peut, par ce fait, devenir tellement fort, que les causes impulsives sont incapables de le contrebalancer ni de le vaincre : le résultat de la lutte sera encore l'inaction. Le *sentiment grossi de crainte* peut varier depuis la simple *anxiété* à l'*angoisse* et même à la *terreur* qui stupéfie. C'est lui qui donne le coup décisif dans la lutte et arrête le passage à l'acte.

3° Au *grossissement démesuré des éléments dépressifs* peuvent s'ajouter les *défectuosités du terrain* : l'*impuissance générale de réaction* de l'individu, qui masque la *faiblesse de caractère*, l'*affaiblissement du ton vital*. La *puissance de réaction* par rapport aux *éléments dépressifs exagérés* tombe au-dessous du *niveau commun*, en

MÉCANISME ET ALLURE DE PHÉNOMÈNES CONCRETS

sorte que l'affaiblissement de l'action résulte de deux causes qui agissent dans le même sens et s'ajoutent. Il y a même des cas où cet affaiblissement confine à l'anéantissement complet de tout l'acte. Ainsi, lorsque l'idée impulsive est accompagnée d'un sentiment de terreur intense et lorsque la puissance de lui résister est très faible, il se produit un arrêt presque absolu de toute action et l'individu paraît stupide sans l'être.

4° Il peut y avoir des *éléments impulsifs subits, trop rapides ou trop intenses*, suivis d'une exécution immédiate, sans que même l'entendement ait eu le temps d'en prendre connaissance. Le passage à l'acte a le caractère d'un phénomène brusque purement réflexe, automatique, qui se produit fatalement sans aucune participation d'éléments supérieurs. Telle serait, par exemple, l'histoire de la personne qui, assise sur un banc d'un jardin, dans un état de tristesse sans motif, se lève tout-à-coup, se jette dans un fossé plein d'eau pour se noyer, et qui, sauvée et revenue à elle, déclare qu'elle n'a aucune conscience d'avoir voulu se suicider, ni aucun souvenir de ce qui s'est passé. Mais il y a aussi des cas où ces éléments impulsifs irrésistibles sont accompagnés de la pleine conscience, où l'on s'en rend bien compte, où l'on raisonne même, où l'on n'a pourtant pas la force de leur résister, tellement ils sont forts et indomptables. C'est leur intensité exagérée même, qui ne leur permet plus de se coordonner avec les autres : ils sortent du rang et ordonnent au lieu de se subordonner. Tel est le cas des impulsions irrésistibles et pourtant conscientes à voler (kleptomanie), à incendier, à s'enivrer. Comme contraste à de tels cas, apparaît celui où les éléments supérieurs prennent trop d'influence : la délibération, les consultations intérieures, les raisonnements à propos de toute action, le calcul des conséquences et de leur

poids, constituent un état d'esprit où les tendances à l'acte s'entravent dans une mesure d'autant plus forte que la richesse d'idées régulatrices et leur influence est plus grande. Il en résultera l'irrésolution, une activité chancelante et instable.

5° Il peut arriver que, bien que rien ne manque dans la composition même des assemblages des causes mises en présence, bien que les éléments impulsifs ou dépressifs soient tous en proportions normales, que le terrain soit également normal, le rôle *coordonatif présente des anomalies*, faisant qu'il n'y a pas cette coordination et cette subordination parfaites qui font converger les impulsions utiles vers un but déterminé, qui arrêtent en même temps les impulsions inutiles et régularisent celles qui menaceraient de grossir hors proportion. Chaque élément agit alors à sa guise ; dans le désordre de la lutte, ce sont les éléments brutaux, restes des instincts animaux, qui étant les plus forts, auront toujours raison de tous les autres. Tel est, par exemple, l'histoire des actes commis à l'état d'ivresse.

6° Une variante de ce dernier cas, où ce sont également la coordination et la subordination qui manquent, se rencontre chez les capricieux et les hystériques. C'est aussi un désordre complet au milieu duquel chaque élément impulsif agit pour son propre compte, mais avec cette différence que ce ne sont plus uniquement et infailliblement les éléments les plus bas, les plus brutaux, qui remportent la victoire. Il peut arriver que les éléments supérieurs à ceux-ci, ceux qui se trouvent rattachés à la sensibilité ou à des passions, soient suffisamment forts pour avoir raison de tous les autres. Si alors ils sont très mobiles, très changeants, instables, brusques à apparaître et à disparaître, s'ils sont désordonnés, indisciplinés par suite d'un *affaiblissement général du pouvoir*

MÉCANISME ET ALLURE DE PHÉNOMÈNES CONCRETS

régulateur de l'individu, on aura le régime des caprices. « Le kaléidoscope des actes change à chaque instant; on passe d'un jour, d'une heure, d'une minute à l'autre, avec une incroyable rapidité, de la joie à la tristesse, du rire aux pleurs. On parle dans certains moments avec une loquacité étonnante, tandis que dans d'autres on devient sombre et taciturne, on garde un mutisme complet ou on reste plongé dans un état de rêverie ou de dépression mentale; on éclate en sanglots ou on se met à rire d'une façon immodérée, sans motif sérieux. Tout-à-l'heure on était gai, enjoué, aimable, gracieux; tout-à-coup, c'est la mauvaise humeur: on est irascible, on se fâche de rien du tout, on ne s'intéresse à rien, on s'ennuie de tout. La sensibilité est exaltée par des motifs les plus futiles, alors qu'elle est à peine touchée par les plus grandes émotions: on reste presque indifférent à l'annonce d'un vrai malheur et on verse d'abondantes larmes pour une simple parole mal'interprétée, en transformant, par exemple, en offense, la plus légère plaisanterie » (Ribot).

XVI. — MÉCANISME GÉNÉRAL DE SYNCHRONISATION DES PHÉNOMÈNES OSCILLANTS AMORTIS DUS A DES CAUSES PÉRIODIQUES

Comme il est indiqué dans le chapitre précédent (septième schéma), lorsque au cours d'un phénomène périodique, à oscillations sinusoïdales amorties, s'introduit une cause périodique irrégulière, le phénomène résultant sera la superposition de plusieurs phénomènes oscillants: l'un s'éteignant rapidement, ayant la même période que le phénomène primitif; les autres, en nombre limité ou illimité, ayant pour période les parties

aliquotes d'une même période et qui joueraient le rôle d'harmoniques du phénomène résultant. L'influence des harmoniques devient de plus en plus faible à mesure que leur rang s'élève ; leurs amplitudes deviennent de plus en plus insensibles et le régime définitif stable du phénomène résultant se réduira sensiblement à un petit nombre d'harmoniques de rangs le moins élevé. De plus, dans le cas où la cause périodique irrégulière est faible, ou lorsqu'elle est instantanée à intermittences régulières, elle équivaut, au point de vue du résultat final de son action, à une certaine cause périodique régulière et à variations sinusoïdales. Or, l'introduction d'une cause du genre de cette dernière a pour effet de faire passer d'abord le phénomène par une phase instable, mais qui finit, au bout d'un temps suffisamment long, par atteindre un régime définitif stable où le phénomène devient périodique et régulier. Dans ce régime définitif, s'établit la *synchronisation* des oscillations du phénomène avec celles de la cause périodique introduite : le phénomène finit par adopter la période de la cause.

Tel est le mécanisme commun à un grand nombre de phénomènes disparates et étudié par Cornu dans ses profondes recherches sur le mouvement perturbé des systèmes mécaniques à oscillations amorties. L'équivalence de causes périodiques complexes et irrégulières à une cause pendulaire simple fait ressortir la grande généralité du mécanisme de synchronisation caractérisant le cas d'une telle cause simple. C'est par ce même mécanisme que s'établit le régime stable dans une foule de phénomènes de toutes natures correspondant à des causes périodiques parfois très complexes.

Nous indiquerons, à titre d'exemple, les phénomènes physiques qui se passent dans les expériences de Cornu confirmant les particularités diverses du schéma pré-

cèdent dans le cas de systèmes mécaniques à oscillations amorties.

Considérons un système oscillant composé de deux cadres placés l'un au-dessus de l'autre, oscillant dans un champ magnétique intense, rendus solidaires par une tige rigide et formant deux circuits indépendants. L'un des cadres reçoit un courant périodique qui joue le rôle de la cause périodique perturbatrice ; l'autre, enfermé dans une boîte de résistance, permet de donner au système tel amortissement que l'on veut. On rend ainsi complètement indépendants, d'une part, la cause perturbatrice, d'autre part le coefficient d'activité de la cause amortissante. Le courant périodique est distribué par l'intermédiaire d'une lame vibrante, dont la période de vibration est voisine de celle des oscillations des cadres.

Il s'agit de composer le mouvement des cadres avec les variations de la force périodique qui le sollicite. Cette composition serait très complexe si l'on voulait déterminer séparément ces deux éléments en fonction du temps ; elle devient, au contraire, très facile si l'on a recours à la composition optique des oscillations des cadres et de la lame vibrante. Cette composition se fait, soit par vision directe, soit par projections, à l'aide de miroirs fixés, l'un à la lame, l'autre à l'un des cadres mobiles.

On peut obtenir divers types de causes perturbatrices par les procédés suivants : une cause à variations pendulaires simples serait réalisée par le courant alternatif induit par un petit aimant lié à la lame vibrante et oscillant dans l'axe d'une bobine fixe. Une cause d'intensité constante interrompue serait réalisée lorsque les vibrations de la lame seraient entretenues par une pile auxiliaire de force électromotrice constante. En réduit

sant de plus en plus la durée du contact pour l'entretien de la lame vibrante et, d'autre part, en augmentant l'intensité de la dérivation, on réalise une cause sensiblement instantanée.

Quelle que soit la force employée, si l'amortissement est nul, ce qui correspond à un coefficient d'activité de la cause amortissante égal à zéro (circuit amortisseur ouvert), la courbe résultant de la composition optique des oscillations des cadres et de la lame vibrante se déforme en passant par toutes les variétés de l'expérience de Lissajous, ce qui prouve que les périodes des cadres et de la lame vibrante n'ont aucune dépendance mutuelle. Mais, dès qu'on forme le circuit amortisseur, les déformations s'arrêtent progressivement : la courbe devient une ellipse indiquant bien, conformément aux résultats généraux prévus par le schéma précédent, la synchronisation des deux espèces de variations considérées.

Une expérience très instructive, effectuée par Cornu et démontrant bien la généralité des résultats précédents, mérite particulièrement d'être citée. Si l'on coupe toute communication électrique des cadres avec la lame vibrante, ceux-ci resteront en repos ; mais, si l'on établit entre eux un lien purement mécanique, en appuyant une barre rigide et lourde sur les socles des deux appareils, les trépidations de la lame impriment aux cadres des mouvements complexes qui se composent optiquement avec l'oscillation pendulaire de la lame. Lorsque l'amortissement est nul, la courbe résultante est une ellipse irrégulière dentelée incessamment variable, témoignant de l'indépendance presque complexe des deux oscillations et de l'inégalité de leurs périodes. Dès qu'on rétablit l'amortissement, les mouvements désordonnés se régularisent, les dentelures s'effacent et la courbe prend la forme d'une ellipse stable, démontrant l'égalité

des périodes et la synchronisation parfaite. Comme contre-épreuve, si l'on ouvre le circuit amortisseur, l'ellipse, après quelques instants d'hésitation, commence à se déformer et reprend bientôt l'allure désordonnée qu'elle avait d'abord. L'amortissement enlevé, la synchronisation cesse.

On a ainsi un exemple physique du fait caractérisant le mécanisme général précédent : *une cause irrégulière peut imposer un régime stable très régulier*. Divers phénomènes d'autres natures sont dûs au même type de mécanismes. On peut, par exemple, citer les phénomènes qui se passent dans certains oscillographes (par exemple celui de Blondel), ou dans les oscillations de petits pendules renversés, contrôle de la stabilité des horloges ; puis les oscillations des navires par la houle, oscillations que les ingénieurs s'efforcent de contrarier ainsi que les effets synchronisants de toutes vibrations (provenant des machines, des charges roulantes, etc.) sur les parties élastiques des constructions (coque des navires, poutres, etc.) Dans l'établissement d'un courant excité par une force électromotrice périodique dans un circuit résistant doué de capacité et de self-induction, le courant est réellement synchronisé par la force-électromotrice, et le mécanisme en est le même que le précédent.

XVII. — MÉCANISME DE RENFORCEMENT DES PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES PEU INTENSES PAR DES FAIBLES CAUSES PÉRIODIQUES.

Certains phénomènes consistent en perturbations introduites par un assemblage de causes directes périodiques et faibles dans un phénomène déjà existant et qui, lui-même consiste dans son cours naturel en faibles

oscillations périodiques autour d'un état d'équilibre stable. Comme il est indiqué dans le Chapitre précédent (neuvième schéma), lorsque la période d'une ou de plusieurs parmi les causes perturbatrices coïncide avec celles des oscillations primitives du système, le phénomène résultant sera la superposition : *a)* des oscillations primitives, celles qui avaient lieu dans le cours naturel du phénomène ; *b)* des oscillations périodiques dues à celles parmi les causes perturbatrices qui ont la période distincte de celle des oscillations primitives et dont l'amplitude est invariable au cours du phénomène ; *c)* des oscillations périodiques dues aux causes perturbatrices dont la période serait la même que celle des oscillations primitives et dont l'amplitude varie au cours du phénomène *en devenant de plus en plus grande*, et cela en raison directe du temps.

Un tel type de mécanismes fait ressortir le fait suivant, d'une grande importance phénoménologique, fournissant la clef pour l'explication de certaines classes de phénomènes : *un phénomène oscillant peu intense peut être considérablement renforcé par un assemblage de causes perturbatrices périodiques faibles*, et cela de manière à ce que les grandeurs des modifications introduites par celles-ci soient en rapport, non pas avec les intensités des nouvelles causes, mais avec les grandeurs des différences entre la période du phénomène primitif et celles des causes perturbatrices. Plus cette différence est petite, plus les amplitudes du phénomène dans le nouveau régime seront grandes, pouvant atteindre toute valeur finie, si grande soit-elle.

Ce fait explique, par exemple, certains mouvements perturbés des locomotives en marche, consistant dans des balancements souvent considérablement plus grands que ceux correspondant aux intensités des causes qui les pro-

voquent. La masse de la locomotive, grâce aux suspensions élastiques sur lesquelles repose sa plus grande partie, représente un système qui effectue des faibles oscillations périodiques, à période déterminée ω autour d'une position d'équilibre stable. D'autre part, les diverses autres causes perturbatrices, provenant des inerties des pièces motrices (le piston, les bielles, les manivelles, etc.) ont comme période θ celle des rotations de la roue motrice. Les amplitudes des oscillations résultantes seront considérables lorsque, au cours du mouvement de la machine, il arrive que la période θ diffère peu de la période ω . Ce sont ces perturbations, très sensibles de temps en temps pendant la marche de la locomotive, connues des mécaniciens, dont la cause doit être cherchée, non pas dans la grandeur des forces qui les provoquent, mais dans l'égalité ou la petitesse de la différence des deux périodes ω et θ . On attribue au même mécanisme certains phénomènes de résonances qui se passent lors de l'absorption des radiations lumineuses et caloriques, où la couche absorbante n'absorbe que les radiations d'une longueur d'onde déterminée.

CHAPITRE VI

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

I. — ANALOGIES ET LEURS NOYAUX

Noyau d'analogie d'un groupe de phénomènes. — Il transforme les ressemblances en égalités. — Analogies quantitatives ou qualitatives suivant le contenu du noyau.

L'*analogie* d'un groupe de phénomènes consiste dans l'existence de particularités que ces phénomènes présentent en commun. Un triage des particularités de toutes sortes rattachées aux phénomènes du groupe conduit à discerner et à rassembler celles qui réapparaissent dans chacun de ces phénomènes : leur ensemble constitue le *noyau d'analogie du groupe* ou plus simplement le *noyau du groupe*.

De même que le noyau de similitude de triangles semblables, consistant dans la communauté des grandeurs des trois angles et des rapports des côtés, l'existence d'un centre commun de similitude pour une orientation convenable des triangles, etc. transforme la similitude en égalités, de même le noyau d'analogie d'un groupe de phénomènes transforme la ressemblance de ceux-ci en pures égalités. Toute ressemblance, depuis l'analogie la plus complète jusqu'à la ressemblance la plus vague, se laisse résumer en un noyau dans lequel aura disparu tout ce qu'il y avait de vague et où il ne restera plus que ce qui est réellement identique dans la ressemblance.

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

Le noyau peut contenir des faits se rapportant aux allures ou aux mécanismes des phénomènes du groupe ; les cas particulièrement intéressants pour notre objet seraient ceux où il contient à la fois les deux sortes de faits. Une foule d'exemples de tels cas se trouvent indiqués dans ce qui précède.

L'analogie sera *quantitative* ou *qualitative* suivant que les faits contenus dans le noyau du groupe seront eux-mêmes d'une nature quantitative ou qualitative.

A) Analogies quantitatives

Analogies mathématiques. — Éléments homologues d'un groupe d'analogies mathématiques. — Quelques groupes d'analogie mathématique et leurs éléments homologues : analogie des phénomènes exponentiels ; analogie des phénomènes électriques avec celui de mouvement d'un volan muni d'ailettes dans un milieu résistant ; analogie des phénomènes oscillants amortis ; analogie des phénomènes de l'équilibre électrique, de la propagation de la chaleur dans un milieu homogène et de ceux du mouvement irrotationnel des liquides incompressibles sans frottement ; analogies électriques et thermodynamiques de M. Lippmann ; analogies des phénomènes économiques et phénomènes thermiques ; diverses autres analogies mathématiques. — Modèles mécaniques pour l'illustration des phénomènes physiques. — Analogies mathématiques partielles.

Le type le plus parfait des analogies *quantitatives* est celui des *analogies mathématiques* entre les phénomènes disparates, où le noyau du groupe consiste dans le fait que les équations différentielles, ou en termes finis, relatives au mode de variation des éléments des phénomènes du groupe, sont, pour tous ces phénomènes, en même nombre et de même forme par rapport à ces éléments, aux fonctions explicites et aux coefficients dans les termes des équations. Les phénomènes forment alors un *groupe d'analogie mathématique*.

Étant donné un groupe de phénomènes $\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 \dots$

formant un groupe d'analogie, mathématiques, formons le tableau suivant de toutes les variables et constantes qui leur sont rattachées :

$$(A) \quad \begin{array}{ccc} \alpha_1, & \beta_1, & \gamma_1 \dots \\ \alpha_2, & \beta_2, & \gamma_2 \dots \\ \alpha_3, & \beta_3, & \gamma_3 \dots \end{array}$$

les éléments de la i -ème ligne correspondant au phénomène Φ_i . La notion même d'analogie mathématique implique la possibilité d'ordonner les éléments du tableau de manière que, pour passer des équations d'un phénomène Φ_i à un autre phénomène Φ_j du groupe, il suffise d'y changer :

$$\begin{array}{ccc} \alpha_i & \text{en} & \alpha_j \\ \beta_i & \text{en} & \beta_j \\ \gamma_i & \text{en} & \gamma_j \end{array}$$

Les éléments appartenant à une même colonne du tableau (A) seront dits alors *éléments homologues* des phénomènes $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3 \dots$. Certaines fonctions des éléments descriptifs, ou de leurs dérivées, ou de leurs intégrales, peuvent aussi jouer les rôles d'éléments homologues (totalités d'éléments, forces vives, forces d'inerties, etc.).

Nous indiquerons quelques groupes d'analogies mathématiques les plus connus.

I. — Un des exemples les plus simples en est fourni par la classe de phénomènes exponentiels, régis par une équation linéaire du premier ordre sans second membre, embrassant, par exemple, le phénomène de refroidissement graduel d'un corps dans un milieu tranquille ; celui de déperdition de l'électricité sur la surface d'un liquide électrisé ; celui des variations de la quantité d'un composé défini qui se transforme progressivement sous l'action d'un agent physique ou d'un ferment. Les

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

éléments homologues du groupe d'analogie seraient pour ces trois phénomènes :

Phénomène	Éléments homologues	
Thermique	Température du corps rayonnant.	Diminution relative de la température par unité de temps.
Électrique	Charge électrique de la surface liquide.	Diminution relative de la charge électrique par unité de temps.
Chimique	Quantité du corps primitif.	Diminution relative de la quantité du corps par unité de temps.

II. — Un autre groupe simple est formé de phénomènes régis par une équation différentielle linéaire du premier ordre avec second membre, embrassant les modifications électriques dans un circuit à résistance et à self-induction sensibles, avec une pile intercalée dans le circuit, et le mouvement d'un volant muni d'ailettes dans un milieu résistant. Les éléments homologues sont ceux du tableau suivant :

Phénomène	Éléments homologues			
Électrique	intensité du courant	force électromotrice de la pile	coefficient de self-induction du circuit	résistance électrique
Mécanique	vitesse angulaire	couple moteur	moment d'inertie	résistance du milieu

III. — Un groupe important d'analogies est fourni par la classe de phénomènes oscillatoires amortis, régis par une équation différentielle linéaire du second ordre ; parmi ces phénomènes se trouvent : le mouvement d'un pendule simple pesant dans un milieu résistant ; les vibrations d'un pendule simple élastique ; la décharge d'un condensateur électrique ; le mouvement d'un liquide dans deux récipients réunis par un tube horizontal suffisamment court. Les éléments homologues sont réunis dans le tableau suivant :

Éléments homologues

Phénomène

Premier . . .	élongation	masse du pendule	rapport du poids du pendule à sa longueur	force d'inertie	force de frottement	composante horizontale du poids
Deuxième . .	élongation	moment d'inertie du pendule	rapport de la force élastique à la déformation	force d'inertie	force de frottement	force élastique
Troisième . .	charge électrique	coefficient de self-induction	inverse de la capacité	force électromotrice d'induction	force de résistance électrique	force électromotrice de Coulomb
Quatrième . .	différence de niveau	masse totale de la colonne oscillante	rapport du poids total de la colonne à la longueur	force d'inertie du liquide	force de frottement	poids du liquide déplacé

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

IV. — Le phénomène de l'équilibre électrique, de la propagation de la chaleur dans un milieu homogène, et du mouvement permanent irrotationnel des liquides incompressibles sans frottement, constituent un groupe d'analogies intéressant qui a exercé une grande influence sur le développement de la Physique mathématique. Les trois phénomènes disparates se trouvent être absolument les mêmes au point de vue de l'analyse mathématique, et tout fait caractérisant l'un d'eux peut être immédiatement transporté, avec sa traduction spéciale, dans les deux autres. Les éléments homologues sont mis en évidence dans ce tableau :

Phénomène	Éléments homologues		
Électrique	potentiel	composantes	pouvoir
	électrique	du champ électrique	inducteur spécifique
Thermique	température	composantes	coefficient
		du flux de chaleur	de conductibilité
Hydrodynamique	potentiel	composantes	coefficient
	des vitesses	de la vitesse	de perméabilité

V. — Dans le groupe d'analogies de M. Lippmann, relatif aux principes de la conservation de la matière et de l'électricité, au principe de Carnot et à leurs conséquences analytiques, la signification des éléments homologues est celle indiquée dans le tableau suivant :

Phénomène	Éléments homologues		
Attraction newtonienne	potentiel	quantité	énergie
	newtonien	de matière	de la pesanteur
Électricité	potentiel	quantité	énergie
	électrique	d'électricité	électrique
Chaleur	température	entropie	quantité
	absolue		de chaleur

VI. — D'après certaines théories économiques, il y aurait une analogie mathématique entre les phénomènes économiques et les phénomènes thermiques dans les gaz, de sorte qu'un certain nombre de résultats de la Thermodynamique, par une interprétation convenable de ses équations et de ses résultats, peuvent être transportés dans la théorie générale des phénomènes économiques. Les éléments homologues seraient nombreux ; les plus importants figurent dans le tableau suivant :

Phénomène	Éléments homologues					
Thermo-dynamique	pression	température	volume	quantité de chaleur	énergie	travail mécanique
Économique	offre	demande	valeur	capital	richesse	travail économique

Ces éléments joueraient les mêmes rôles dans les deux classes de phénomènes disparates qui se correspondent, d'une part dans les changements du volume, de la pression, de la température, de l'énergie calorifique, d'autre part dans les changements des valeurs économiques, dans l'accumulation du capital, dans la répartition des richesses, etc. et figureraient de même manière dans les équations respectives des deux classes de phénomènes. Par exemple, l'offre (pression économique), la valeur et la demande (température économique) seraient liées entre elles, pour les variations suffisamment petites de ces éléments, par la même relation que la pression, le volume et la température des gaz parfaits (loi de Gay-Lussac). Le changement des valeurs serait analogue à la dilatation des gaz. Le principe de la conservation de l'énergie et celui de Carnot seraient applicables d'une même manière aux deux classes de phénomènes, etc. (Losta Stoyanovitch).

Il existe une foule d'analogies mathématiques plus ou

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

moins complètes. Pour ne citer que les plus connues, rappelons l'analogie entre les phénomènes d'équilibre élastique, la distribution des températures à l'intérieur d'un corps solide et celle du potentiel ; les nombreuses analogies observées entre divers phénomènes de l'électrostatique et du magnétisme ; l'analogie entre la théorie des tourbillons et celle de certains phénomènes électrodynamiques ; entre la théorie de la pression osmotique et celle de la pression des gaz ; entre les phénomènes d'aimantation du fer et ceux que présentent les vapeurs saturées ; entre un grand nombre de phénomènes de diverses natures concrètes, embrassés par les vastes classes de phénomènes monocycliques, bicycliques et polycycliques de Helmholtz ; entre le phénomène de dissociation électrolytique et celui de vaporisation ; entre les phénomènes de déformation élastique, ou bien ceux d'induction, et ceux du mouvement des liquides ; entre le phénomène électrique de la roue de Barlow et le mouvement du cerceau, etc.

Les modèles mécaniques pour l'illustration des phénomènes physiques, dont il a été question au début de cet ouvrage (1), se rattachent directement à ce même ordre d'idées et fournissent aussi des exemples de groupes d'analogie. Tels sont, par exemple, les modèles mécaniques par lesquels Maxwell se représentait les phénomènes de l'induction électrique ou la polarisation des diélectriques ; les nombreux modèles par lesquels Sir William Thomson a représenté divers phénomènes optiques ; les modèles imaginés par Garbasso pour représenter la décharge des condensateurs ; le modèle par lequel Boltzmann a illustré les vues de Maxwell sur les applications des équations de Lagrange aux phénomènes

(1) Voir l'Introduction.

thermiques et électriques ; les systèmes mécaniques par lesquels Lord Rayleigh a illustré l'analogie entre divers phénomènes de l'électromagnétisme et ceux des mouvements des liquides (fonctionnement des bobines d'induction correspondant à celui des béliers hydrauliques) ; le modèle mécanique par lequel J.-C. Bose a illustré les propriétés conductrices d'une substance et ses rapports avec l'état moléculaire de celle-ci, etc.

VII. — Dans un grand nombre de cas, l'analogie mathématique n'est que *partielle*, ne se poursuivant pas sur toutes les particularités des phénomènes du groupe, ne s'étendant qu'à un nombre plus ou moins restreint d'elles-ci. Telle serait, par exemple, l'analogie entre les phénomènes de dissociation électrolytique et celui de vaporisation, entre le phénomène d'aimantation du fer et ceux que présentent les vapeurs saturées ; le cas d'un grand nombre de modèles mécaniques n'illustrant parfaitement qu'un nombre restreint de particularités du phénomène physique correspondant, etc.

A) Analogies qualitatives.

Quelques groupes d'analogies qualitatives entre les phénomènes disparates. — Analogie hydraulique de la pile électrique. — Analogies de phénomènes hydrauliques, thermiques et électriques, auxquels donne naissance la différence de niveau hydraulique, thermique et électrique. — Analogie des phénomènes hydrauliques et des phénomènes électriques de self-induction. — Analogie des phénomènes de corps vibrants et des phénomènes électriques et magnétiques. — Analogie de l'aimantation et des phénomènes élastiques. — Analogie des phénomènes d'excitation des substances inorganiques et de la matière vivante. — Analogie des phénomènes disparates de résonances. — Analogies des phénomènes disparates régis par la loi généralisée de Gibbs et Le Châtelier. — Analogie des phénomènes disparates consistant en évolution progressive d'un système vers un état final, effectuée par le renforcement itératif de la proportion

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

d'un élément du système par rapport à tous les autres. — Analogie des phénomènes disparates consistant en dissociation d'un complexe pour un même processus dans lequel les différents composants du complexus se comportent de manières qualitativement les mêmes mais quantitativement différentes. — Analogie des crises économiques et des maladies. — Analogie du phénomène de production des actes volontaires et les péripéties du combat de deux armées opposées. — Analogie de nombreux phénomènes disparates et de luttes. — Analogies qualitatives partielles des phénomènes disparates exprimées par diverses comparaisons, assimilations et métaphores.

Nous indiquerons dans ce qui suit quelques analogies *qualitatives* présentant l'avantage de faire saisir d'une manière intuitive jusqu'à quel degré une telle analogie peut se poursuivre entre des phénomènes n'ayant entre eux aucun rapport concret.

I. — ANALOGIE HYDRAULIQUE DE LA PILE ÉLECTRIQUE

Soit une pile formée d'une plaque de zinc et d'une lame de cuivre plongeant dans de l'eau acidulée. La réaction chimique entre l'acide et le zinc détermine un courant électrique qui circulera à l'intérieur de la pile du zinc au cuivre et, à l'extérieur, en suivant le fil conducteur, du cuivre au zinc.

Comparons la pile, avec son conducteur extérieur, à une pompe rotative, dont l'orifice de sortie serait réuni à l'orifice d'entrée par un tube. Le tout étant rempli d'eau, si l'on tourne l'arbre de la pompe dans un sens convenable, les ailettes de la pompe pousseront la masse d'eau de gauche à droite et détermineront une aspiration vers la gauche, analogue à celle qui dirige le courant à l'intérieur de la pile du zinc au cuivre. L'eau sortira de la pompe par un orifice, circulera dans le tub

et rentrera dans la pompe par un autre orifice. On a de la sorte un courant liquide de gauche à droite dans le corps de pompe, et de droite à gauche dans le tube. Le corps de pompe et le tube constituent le circuit que parcourt l'eau. On peut considérer comme orifice positif le trou de sortie vers lequel le liquide est poussé avec une certaine pression, et comme orifice négatif le trou de rentrée par lequel la pompe aspire le liquide. Les choses se passent d'une façon analogue dans la pile, où l'action chimique produit sur l'électricité le même effet que l'hélice de la pompe sur l'eau. L'électricité sort par la lame de cuivre, qui est le pôle positif, et rentre dans la pile, en suivant le fil conducteur, par la plaque de zinc qui est le pôle négatif.

Pour le liquide, les conducteurs sont creux ; ce sont des cylindres ou des tuyaux, dont les parois maintiennent le liquide. Pour l'électricité, les conducteurs sont généralement des métaux ; l'électricité est conduite par la matière même des conducteurs et y est maintenue par la couche d'air qui l'entoure, qui joue ainsi dans le phénomène électrique le même rôle que jouent les parois des tuyaux dans le phénomène hydraulique. Le rôle de la pression hydraulique serait le même que celui de la tension électrique, etc.

II. — ANALOGIES DE PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES, THERMIQUES ET ÉLECTRIQUES AUXQUELS DONNE NAISSANCE LA DIFFÉRENCE DE NIVEAU HYDRAULIQUE, THERMIQUE ET ÉLECTRIQUE.

Lorsque deux bassins sont réunis par un tube, un courant liquide s'établit par ce tuyau en raison de la différence de niveau des deux bassins. Si ceux-ci se trouvaient à la même hauteur, leur différence de niveau serait nulle

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

et il ne se produirait pas de courant. Quand un bassin est à une certaine hauteur au-dessus du niveau de la mer, sa cote est positive ; si on le disposait au fond d'un puits creusé sur la plage, sa cote serait négative. Dans le premier cas, l'eau s'écoulerait vers la mer ; dans le deuxième, c'est l'eau de la mer qui tomberait dans le bassin.

De même si l'on met en présence deux corps à températures différentes, la chaleur passera, à travers l'espace, du corps le plus chaud à l'autre ; le premier se refroidira tandis que l'autre s'échauffera. Quand ils seront à la même température, il n'y aura plus échange de chaleur entre eux. Mais si on les maintient aux températures primitives, en chauffant l'un et en refroidissant l'autre, le passage de la chaleur continuera et on aura un courant de chaleur. Tout corps à une température plus élevée que celle de la glace fondante se refroidit en présence de la glace : sa température est positive. Tout corps plus froid que la glace est à température négative et s'échauffe en présence de la glace. Le courant calorifique entre deux corps inégalement chauds se produit ainsi par une différence de température, de même que dans le phénomène hydraulique le courant de liquide était dû à une différence de niveau.

Enfin, dans une pile, l'électricité, poussée vers le pôle positif par la force électromotrice de la pile, a une tendance plus ou moins grande à s'échapper ; comme la chaleur a une tendance plus ou moins grande à s'échapper d'un corps chaud. On peut dire, par analogie, que l'électricité est à un certain niveau électrique, à une certaine « température » électrique, et l'on emploie le mot « potentiel » qui exprime la même idée. Le potentiel joue pour l'électricité le même rôle que joue la hauteur de niveau et la température pour l'eau et la chaleur. Le potentiel de l'électricité terrestre, servant de

terme de comparaison, est représenté par zéro. Toutes les fois qu'un corps électrisé sera à un potentiel plus élevé que celui du sol, ce potentiel sera positif. Si l'on relie le corps à la terre par un fil conducteur, une partie de l'électricité s'écoulera vers la terre. Dans le cas contraire, le potentiel sera négatif et c'est l'électricité de la terre qui s'écoulera vers le corps. Deux corps électrisés, étant réunis par un fil conducteur, ne donneront lieu à aucun échange d'électricité s'ils sont au même potentiel. Mais si leurs potentiels sont différents, l'électricité du corps à plus haut potentiel s'écoulera sur le corps au potentiel le plus bas. Il y aura courant électrique, de même que se produit une circulation d'eau entre deux bassins à niveaux différents ou un courant de chaleur entre deux corps à températures inégales.

III. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES ET DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE SELF-INDUCTION

Lorsqu'un liquide circule dans un conducteur, l'intensité (la vitesse) du courant liquide, varie avec la force qui met le liquide en mouvement et avec la résistance du tuyau : elle augmente avec la pression et diminue quand la résistance à l'écoulement augmente. Il en est de même pour le courant électrique : l'intensité d'un courant varie en raison directe de la force qui l'entretient et en raison inverse de la résistance du conducteur ; c'est la loi d'Ohm.

Mais si un courant électrique continu est lancé dans un circuit doué de self-induction, celle-ci aura pour effet d'engendrer dans le circuit même une force électromotrice induite antagoniste qui retardera le courant

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

de telle sorte que le courant n'acquerra son intensité normale fournie par la loi d'Ohm qu'au bout d'un certain temps, et qu'au contraire, s'il finit, la self-induction engendrera une force électromotrice directe qui en prolongera la durée. Les choses se passent comme si l'électricité présentait de l'inertie de même espèce que celle d'un liquide. Lorsqu'on établit brusquement une différence de niveau entre deux bassins contenant de l'eau et réunis par un tuyau, l'intensité de l'écoulement du liquide ne prend pas instantanément la valeur correspondant à la différence de niveau. Il faut pour cela un certain temps, à cause de l'inertie de l'eau. La résistance électrique et l'inertie électrique interviennent dans les phénomènes de self-induction absolument de la même manière que la résistance à l'écoulement et l'inertie de l'eau interviennent dans les phénomènes hydrodynamiques ; la manière commune d'intervenir apparaît dans tous les détails de ces deux classes de phénomènes disparates.

IV. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DES CORPS VIBRANTS ET DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

Guyot avait observé qu'un diapason en vibration attire les corps légers, tels que le papier. Schellbach a montré que tout corps sonore agit sur les corps voisins mais de manière différente, suivant qu'ils sont plus ou moins denses et suivant le milieu dans lequel ils sont plongés. Dans l'air, ils attirent les corps plus lourds que l'air, comme le papier, et repoussent les corps plus légers, comme la flamme d'une bougie. Bjerkness a approfondi cette étude et mis en évidence les analogie

remarquables entre les phénomènes d'attraction et de répulsion des corps vibrants et ceux dus aux attractions et aux répulsions électriques et magnétiques.

Il faut d'abord distinguer deux espèces de corps vibrants : ceux qui changent périodiquement de volume (les *pulsateurs*) et ceux qui changent périodiquement de place (les *oscillateurs*). Bjerkness a fait ses expériences avec deux pulsateurs constitués par deux petits tambours fermés par des membranes en caoutchouc et communiquant par un tube avec une soufflerie ; cette dernière produisait dans les tambours des compressions et des dilatations périodiques de l'air, qui se manifestaient par le gonflement et la dépression périodique des membranes.

Convenons de désigner par un même nom (par exemple : pulsateurs positifs ou pulsateurs négatifs) les deux pulsateurs isochrones lorsque l'un d'eux se gonfle pendant que l'autre se contracte, et par des noms contraires (l'un positif, l'autre négatif) lorsqu'ils se gonflent en même temps ou se dépriment en même temps. On constate alors que les pulsateurs isochrones de noms contraires s'attirent et que ceux de même nom se repoussent. Les deux pulsateurs agissent donc l'un sur l'autre comme deux corps électrisés ou comme deux pôles magnétiques : c'est pour cela qu'ils sont appelés *pôles hydrodynamiques*. D'où il suit que les pôles hydrodynamiques de noms contraires s'attirent et ceux de même nom se repoussent. Les pôles hydrodynamiques sont, sous ce rapport, analogues aux pôles magnétiques. L'analogie se poursuit dans tous les cas que l'on peut soumettre à l'expérience.

Ainsi : deux pôles magnétiques de même nom se repoussent ; mais si l'un d'eux est plus fort que l'autre, la répulsion n'a lieu qu'à une distance assez grande, et si

la distance est suffisamment petite, les deux pôles s'attirent. On constate le fait analogue pour les pôles hydrodynamiques d'intensités différentes (d'amplitudes de pulsations différentes) : lorsque les pulsateurs sont de même nom, on les verra se repousser si la distance est grande, et s'attirer si la distance est petite.

Approchons du pulsateur un oscillateur réuni aussi à la soufflerie qui lui imprime les oscillations périodiques isochrones de celles du pulsateur. Si l'on tourne l'oscillateur de manière à ce que la ligne d'oscillations soit perpendiculaire à la membrane du pulsateur, la boule oscillante de l'oscillateur et cette membrane se rapprochent ou s'éloignent en même temps d'une position d'équilibre, comme s'il y avait entre eux une attraction. Mais si l'on retourne l'oscillateur de manière à présenter au pulsateur l'autre face de la boule oscillante on observera une répulsion. Un oscillateur se comporte donc comme un aimant dont les deux pôles seraient représentés par les deux faces opposées de la boule oscillante. C'est pour cela qu'il est appelé *aimant hydrodynamique*, et l'analogie apparaît entre de tels aimants et les aimants magnétiques.

Les actions attractives et répulsives des corps vibrants se manifestent aussi sur les corps neutres plongés dans un liquide, suspendus de manière qu'ils puissent se déplacer. Si l'on approche le corps vibrant, pulsateur ou oscillateur, du corps plus lourd que le liquide, celui-ci sera attiré ; si on l'approche du corps plus léger, celui-ci sera repoussé. Les aimants magnétiques présentent une particularité analogue ; ils attirent certains corps, comme le fer, et en repoussent d'autres, comme le bismuth. Lorsque ces corps ont la forme de barreaux et qu'on leur présente un aimant, les premiers se mettent dans la

direction de l'aimant ou dans la direction axiale, et les seconds se mettent perpendiculairement à l'aimant ou dans une direction équatoriale ; d'après cette observation, on a appelé les premiers *paramagnétiques* et les seconds *diamagnétiques*. Les aimants hydrodynamiques présentent des phénomènes analogues : on constate que par rapport à de tels aimants, les corps lourds sont paramagnétiques, et les corps légers diamagnétiques. Ainsi, si, dans une cuve à eau, on suspend un corps lourd de forme cylindrique (par exemple un barreau de mastic noir) par le haut, et un corps léger (par exemple un barreau de moelle de sureau) par le bas, qu'on approche successivement un pulsateur de ces deux corps, le corps lourd se mettra dans une direction perpendiculaire à la membrane du pulsateur et le corps léger se mettra dans une direction parallèle à cette membrane. Les oscillateurs donnent des résultats semblables.

Les analogies se poursuivent aussi dans les faits suivants :

1° Faisons flotter sur l'eau un petit disque en liège portant à son centre un morceau de fer, et approchons-le d'un support portant deux aimants cylindriques verticaux, séparés justement à la surface de l'eau. Les pôles en regard des deux aimants peuvent être égaux ou contraires :

a) Si les pôles sont contraires, nord et sud, le disque de liège se précipitera entre les deux aimants, jusqu'à ce que le fer qu'il porte soit au centre ou sur l'axe des aimants ;

b) Si l'on retourne l'aimant supérieur de manière que les pôles en regard soient maintenant de même nom, nord et nord par exemple, le fer flottant quitte l'axe et se place entre l'axe et les bords, en restant toujours dans le champ magnétique.

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

En remplaçant le fer par le bismuth, on aurait des résultats inverses.

Les corps lourds et les corps légers présentent les mêmes phénomènes sous l'action des corps vibrants. Remplaçons les deux aimants par deux pulsateurs horizontaux et approchons en le flotteur. Les pulsateurs devront être descendus dans l'eau jusqu'à ce qu'ils soient à une égale distance du plan qui contient le petit corps lourd. En poussant la flotteur vers les pulsateurs, on observera ce qui suit :

a) Si les pulsateurs sont de noms contraires, la boule du flotteur sera attirée et viendra se placer sur leur axe commun ;

b) Si alors l'un des pulsateurs change de nom (change de sens de gonflement) de façon qu'ils deviennent de même nom, la boule du flotteur ne restera pas sur l'axe, mais elle sera repoussée du centre jusqu'à une distance de l'axe ayant à peu près les $\frac{7}{10}$ de la distance des deux pulsateurs. Si l'on cherche à la rapprocher ou à l'éloigner du centre, elle revient toujours à ce point.

Si maintenant, on remplace le petit corps lourd par un corps plus léger que l'eau (tel que la balle de sureau) et qu'on l'approche des pulsateurs, on observera ceci :

a) Si les pulsateurs sont de noms contraires, la balle de sureau se comportera exactement comme la boule du corps lourd dans le cas *b* précédent ;

b) S'ils sont de mêmes noms, la balle se comportera comme la boule du corps lourd dans le cas *a* précédent.

Les corps lourds et les corps légers se comportent donc d'une manière différente, les premiers comme des corps paramagnétiques et les seconds comme des corps diamagnétiques.

2° Si l'on place au-dessous d'une feuille de verre recouverte de papier les pôles d'un aimant vertical et qu'on saupoudre de limaille de fer le papier, on voit cette limaille se disposer suivant les lignes de forces qui sont ici radiales et l'on a ce que l'on appelle le *spectre magnétique* d'un pôle isolé.

Un second pôle étant placé un peu plus loin, on aurait d'autres figures magnétiques représentant toujours les lignes de forces de deux pôles, soit de même nom, soit de noms contraires. On pourrait placer sous la feuille de verre un troisième pôle, puis un quatrième, et l'on aurait d'autres figures.

Les pôles hydrodynamiques étant analogues aux pôles magnétiques, Bjerkness a cherché à représenter leurs lignes de forces par des figures analogues. Il a trouvé la similitude complète avec les spectres magnétiques, en confirmant que sous ce rapport aussi, les actions des corps vibrants sont analogues aux actions magnétiques.

3° L'analyse mathématique indique que des cylindres indéfinis, plongés dans un fluide et animés de rotations alternatives autour de leur axe, pourraient représenter quelque chose d'analogue à des courants électriques. Cela veut dire qu'ils produiraient, sur des cylindres semblables et sur des pôles hydrodynamiques, des actions analogues à celles qu'exercent les courants électriques sur d'autres courants ou sur des pôles magnétiques.

Guidé par cette idée, Bjerkness a trouvé par expérience les spectres suivants :

a) Les lignes de force d'un courant hydrodynamique dans un plan perpendiculaire à sa direction : ce sont des cercles concentriques au courant, analogues au spectre magnétique obtenu avec un courant électrique dans les mêmes conditions ;

b) Les spectres ou les lignes de force d'un courant

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

hydrodynamique dans un plan parallèle à sa direction : ce sont des lignes droites perpendiculaires au courant, analogues à celles que produirait un courant électrique si on le couchait sur une feuille de papier saupoudrée de limaille de fer ;

c) Le spectre de deux courants hydrodynamiques parallèles et de sens contraires dans un plan perpendiculaire à leur direction, et de spectre magnétique semblable pour deux courants électriques dans le même cas ;

d) Le spectre de deux courants c de même sens : ces spectres sont formés par des lemniscates aussi bien dans le cas de courants hydrodynamiques que dans le cas de courants électriques.

Dans tous les cas, les figures présentent une conformité complète avec les courbes qu'on obtient à l'aide de la limaille de fer sous l'action de vrais pôles et de vrais courants.

V. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES D'AIMANTATION ET DES PHÉNOMÈNES ÉLASTIQUES

Les phénomènes d'aimantation et les phénomènes élastiques, et tout particulièrement ceux où intervient la torsion, présentent une analogie frappante, mise en évidence par Wiedemann, et résumée de la manière suivante par M. Bouty :

De même qu'un couple de torsion très faible, appliqué à un cylindre, produit une torsion temporaire, de même une force magnétisante produit presque exclusivement une aimantation temporaire. Mais si l'on fait croître peu à peu, soit le couple de torsion, soit la force magnétisante, une partie de l'aimantation ou de la torsion temporaire persistera après la disparition de la

cause qui l'a produite. Comme il y a une limite à la torsion permanente ou temporaire que peut supporter sans se rompre un cylindre soumis à des couples de torsion de plus en plus considérables, de même il y a une limite à l'aimantation soit temporaire, soit permanente.

Cette analogie s'étend au cas de la répétition de l'action magnétique ou torsive, à la superposition des effets temporaire et permanent de signes contraires, etc. Les faits suivants, mis en parallèle, suffiront à le montrer :

1° Les torsions temporaires produites par des poids croissants sur un cylindre tordu pour la première fois, augmentent d'abord plus vite que ce poids. De même, les aimantations temporaires d'un barreau soumis pour la première fois à l'action de courants croissants augmentent d'abord plus vite que les intensités de ces courants ;

2° Les torsions permanentes croissent encore bien plus vite. De même les aimantations permanentes croissent, aussi, encore bien plus vite ;

3° Pour détordre, il faut une force bien moins considérable que pour tordre. De même pour désaimanter, il faut une force bien moins considérable que pour aimanter ;

4° Par suite de torsions répétés, les torsions tendent de plus en plus à devenir proportionnelles au poids de torsion ; elles sont supérieures à la première torsion produite par ce poids. De même par des applications répétées de la force magnétisante, les moments magnétiques tendent de plus en plus à devenir proportionnels à cette force ; les aimantations produites sont supérieures à la première ;

5° Par l'emploi répété des mêmes poids de torsion et de détorsion G et G_1 , le maximum de la torsion permanente s'abaisse et son minimum s'élève jusqu'à une cer-

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

taine limite. De même par l'emploi répété des courants magnétisant et démagnétisant J et J_1 , le maximum de l'aimantation directe produit par l'action de J s'abaisse, et son minimum produit par l'action de J_1 s'élève jusqu'à une certaine limite ;

6° Quand on tord par l'action de forces supérieures à celles que l'on a précédemment employées à tordre ou à détordre, l'effet de la torsion est le même que si l'on tordait pour la première fois. De même quand on aimante par des forces supérieures à celles que l'on a précédemment employées dans le sens direct ou inverse, l'aimantation obtenue est la même que si l'on aimantait pour la première fois ;

7° Un fil tordu qui a été détordu par la force $-G$ ne peut être tordu en sens inverse par l'application répétée de la force $-G$, tandis que la force $+G$ le tord dans le sens primitif. De même un barreau aimanté, puis désaimanté par un courant $-J$, ne peut être aimanté en sens contraire par l'application répétée du courant $-J$, tandis qu'il sera aimanté dans le sens primitif par le courant $+J$;

8° Un fil possédant la torsion permanente A , porté par une force b à la torsion B , puis à une torsion C intermédiaire entre A et B , doit, pour acquérir de nouveau la torsion B , être soumis à la force b ; peu importe que A soit nul, B plus grand ou plus petit que A . De même un barreau dont le magnétisme permanent est A , porté par un courant J au magnétisme B , puis au magnétisme C intermédiaire entre A et B , ne peut être ramené à l'aimantation B que par le courant J ; peu importe que A soit nul, B plus grand ou plus petit que A .

Il y a plus : si l'on vient à tordre un fil d'acier, tandis qu'il est soumis à l'action d'une force magnétisante, on modifie l'aimantation de ce fil. Réciproquement, l'aiman-

tation d'un fil tordu modifie sa torsion. Les deux phénomènes inverses présentent encore de grandes analogies, comme le montrent les faits suivants ;

9° La torsion permanente des fils de fer décroît par leur aimantation, et cela d'autant moins qu'ils sont plus aimantés. De même l'aimantation permanente des barreaux d'acier décroît par la torsion, et cela d'autant moins que leur torsion est plus forte.

10° Des aimantations répétées dans le même sens diminuent à peine la torsion conservée après une aimantation unique ; une aimantation en sens contraire produit une nouvelle et considérable diminution de la torsion. De même des torsions répétées dans le même sens diminuent à peine l'aimantation conservée après une torsion unique ; une torsion en sens contraire produit une nouvelle et considérable diminution de la torsion ;

11° Si, par des aimantations répétées en sens inverse, un fil a été détordu le plus possible, sa torsion prend une certaine valeur maximum pour l'aimantation dans un sens, minimum pour l'aimantation en sens contraire. De même si, par des torsions répétées en sens inverse, on a diminué le plus possible l'aimantation, celle-ci prend une certaine valeur maximum pour la torsion en sens contraire ;

12° Si l'on aimante un fil tandis qu'il est sous l'action du poids de torsion, sa torsion croît pour les petites forces magnétisantes, et décroît pour les grandes. De même, si l'on tord un barreau d'acier tandis qu'il est sous l'action de la force magnétisante, son aimantation croît pour les faibles torsions, et diminue pour les fortes,

13° Si l'on dirige un courant à travers un fil de fer aimanté, ou si l'on aimante un fil de fer à travers lequel on a fait passer un courant, il se tord. De même si l'on

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

tord un fil de fer pendant qu'on y fait passer un courant ou après le passage du courant, il s'aimante;

14° L'effet d'une torsion ne dépend pas seulement de la grandeur absolue de la force qui la produit; mais encore de la manière dont on l'applique, graduellement ou brusquement. Dans le cas d'une force de torsion brusque, la torsion peut être plus grande que si la force était appliquée graduellement. De même, l'aimantation n'est pas la même, suivant que le courant qui la produit commence ou finit d'une manière brusque ou lente, c'est-à-dire suivant qu'on a recours à l'action d'un interrupteur ou qu'on introduit ou supprime dans le courant magnétique des résistances supplémentaires. La fermeture brusque du circuit peut produire une aimantation plus forte que la fermeture lente; pour la même raison, l'ouverture brusque peut diminuer la quantité de magnétisme conservé.

VI. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES D'EXCITATION DES SUBSTANCES INORGANIQUES ET DE LA MATIÈRE VIVANTE

Les phénomènes d'excitation des substances inorganiques et de la matière vivante présentent de grandes analogies qualitatives, étudiées particulièrement par J.-Ch. Bose, et révélées, entre une foule d'autres faits, par l'ensemble suivant de faits mis ici en parallèle :

1° Lorsqu'on soumet les particules discontinues de certaines substances inorganiques (limaille métallique, oxyde de fer magnétique, potassium, etc.) à des chocs électriques, il y a des changements brusques de la conductivité électrique que l'on peut mettre en évidence par les déviations de l'aiguille d'un galvanomètre.

Certaines substances, comme le magnésium, le fer, le bismuth, présentent un accroissement de conductivité (effet positif); d'autres, telles que le potassium, l'arsenic, l'iode, en présentent une diminution (effet négatif). Pour les substances à effet positif, la courbe représentant l'effet d'une excitation présente d'abord une courte phase où elle est parallèle à l'axe des temps (période latente provenant de ce que la réaction ne commence à se produire qu'un certain temps après le commencement de l'excitation); l'effet se poursuit même après la cessation de l'excitation: il atteint un maximum après lequel la substance revient à sa conductivité normale. Pour les substances à effet négatif, la courbe sera de la même forme, sous la condition que les ordonnées représentent la résistivité à la place de la conductivité. De même, lorsqu'on soumet un fragment de tissu vivant, par exemple un fragment de muscle, à une excitation électrique, il se produit une contraction qu'on peut mettre en évidence par des appareils enregistreurs. Quand l'excitation cesse, le muscle recouvre graduellement sa forme primitive. La courbe représentant l'effet d'une excitation présente d'abord une courte phase où elle est parallèle à l'axe des temps (période latente provenant de ce que la réaction du muscle ne commence à se produire qu'un certain temps après le commencement de l'excitation); l'effet atteint son maximum après lequel le muscle revient à sa forme primitive;

2° L'élévation de température jusqu'à une certaine limite déterminée augmente la sensibilité à l'excitation de la substance (mesurée par les grandeurs de la déviation de l'aiguille du galvanomètre) et accélère le retour à l'état primitif; mais au delà de cette limite, la sensibilité et la vitesse du retour sont toutes deux diminuées. De même l'élévation de la température jusqu'à une cer-

taine limite déterminée augmente la sensibilité du muscle (mesurée par la grandeur de la contraction) et accélère le retour à l'état primitif, mais au delà de cette limite, la sensibilité et la vitesse du retour sont toutes deux diminuées ;

3° La matière inorganique, par exemple l'oxyde de fer magnétique, exposée à des excitations intermittentes, réagit de manières différentes suivant les intensités de celles-ci et la manière dont elles sont espacées. Ainsi, l'excitation étant maximum, la seconde excitation n'a aucun effet s'ajoutant à la déviation maximum de la première. Les effets des excitations modérées s'ajoutent et quand elles sont suffisamment espacées, on peut distinguer l'effet individuel de chacune d'elles. Quand les excitations se succèdent avec une grande rapidité, les effets sont confondus ; la courbe des déviations cesse d'être saccadée et l'effet peut être qualifié de *tétanique*. Les effets produits sur les muscles par des excitations intermittentes sont absolument les mêmes. L'excitation étant maximum, la seconde excitation n'aura aucun effet s'ajoutant à la contraction maximum de la première. Les effets des excitations modérées s'ajoutent et quand leur succession est suffisamment lente, on peut distinguer l'effet individuel de chacune d'elles. Lorsque les excitations se succèdent très rapidement, les effets se confondent dans le phénomène connu sous le nom de *tétanos* ;

4° Lorsque l'excitation est trop forte, ou si la substance a une limite d'*excitation électrique* peu élevée, il se produit un changement permanent, plus ou moins grand, de conductivité. De plus, la substance répond peu aux actions ultérieures des excitations : elle ne réagit plus et est dite *fatiguée*. De même, lorsque l'excitation est trop forte, ou si la limite de l'élasticité de

muscle a été dépassée, il se produit un changement permanent, plus ou moins grand, de la forme du muscle. De plus, le muscle répond peu aux excitations ultérieures : il ne réagit plus et est dit *fatigué*.

5° La fatigue disparaît lentement et d'elle-même par le retour naturel de la substance à l'état primitif, qui se produit après une période de repos. Si l'on veut accélérer cette suppression de la fatigue, il faut accélérer le retour de la substance à l'état primitif, et on peut le faire rapidement par des vibrations mécaniques ou par une élévation modérée de chaleur. De même, la fatigue du muscle disparaît lentement et d'elle-même par le retour naturel du muscle à l'état primitif après une période de repos. Si l'on veut accélérer cette suppression de la fatigue, il faut accélérer le retour du muscle à l'état primitif et on peut le faire rapidement par des vibrations mécaniques ou par une élévation modérée de chaleur. On sait, en effet, qu'un moyen rapide pour supprimer la fatigue des muscles est le massage (vibrations mécaniques) et que le bain turc, qui combine le massage avec une élévation modérée de chaleur, est un des moyens les plus efficaces pour la suppression de la fatigue corporelle ;

6° Par des injections de substances étrangères, on peut produire un ralentissement plus ou moins grand du retour de la substance considérée à l'état primitif. En mélangeant, par exemple, du mercure au potassium, l'effet de l'excitation électrique exercée sur l'amalgame (une diminution de conductivité) reste le même que sur le potassium, mais la propriété de retour spontané est presque complètement perdue. De même, par l'injection des substances étrangères, on peut produire un ralentissement plus ou moins grand du retour du muscle à l'état primitif. Ainsi, la vératrine, divers autres poi-

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

sons, les sels de barium, strontium et calcium, retardent considérablement le retour spontané du muscle ;

7° Pour un grand nombre de substances inorganiques, si une excitation d'intensité suffisamment grande produit un certain effet normal ou positif, une faible intensité produit un effet négatif ; en d'autres termes, les effets d'excitation au-dessous et au-dessus d'une *intensité critique* sont de signe *contraire*. Ce fait trouve son analogue dans l'action physiologique d'un grand nombre de médicaments, agissant en tant qu'excitants chimiques ; une faible dose produit une action précisément opposée à celle d'une forte dose. D'une manière analogue, les solutions diluées de quinine exaltent le pouvoir phagocytaire dans la lutte de l'organisme contre les microbes, tandis que des solutions concentrées produisent l'effet opposé. Nous venons également de voir qu'une élévation de température jusqu'à une température critique augmente la sensibilité à l'excitation et la vitesse du retour à l'état primitif, soit d'une substance inorganique, soit du muscle, et que, cette température critique dépassée, la sensibilité et la vitesse du retour sont toutes deux diminuées. On a une foule de cas analogues dans les diverses actions moléculaires dont le signe change quand l'intensité de la cause agissante dépasse une certaine grandeur critique.

VII. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DISPARATES

DE RÉSONNANCES

Les divers phénomènes de *résonnances*, qui se présentent dans plusieurs branches des sciences, constituent un vaste et important groupe d'analogie qualitative. Le noyau du groupe consiste dans une sorte de

spécificité des effets imposée par le facteur jouant le rôle de terrain, faisant que, d'une part, parmi plusieurs causes de même espèce, certaines seulement peuvent avoir un effet sensible sur un terrain déterminé, et que, d'autre part, parmi plusieurs terrains de même espèce, certains seulement se prêtent à l'action sensible d'une cause déterminée.

Tels seraient, d'abord, les phénomènes de résonnances acoustiques, par exemple ceux qui se passent dans les résonateurs à cordes, où une note donnée dans le voisinage ne fait vibrer qu'un certain nombre de cordes, c'est-à-dire celles qui sont en harmonie avec cette note, les autres ne répondant pas.

Tels seraient aussi les phénomènes de résonnances optiques, dont le plus simple est celui de la coloration spécifique des corps. Tel corps ne réfléchit que la lumière rouge (ne résonne que pour la note donnée par la lumière rouge), parmi toutes les autres composant le spectre ; un autre ne réfléchit que la lumière verte, etc. Le procédé interférentiel de photographie des couleurs de M. Lippmann augmente encore l'analogie entre les résonnances optiques et acoustiques. Il consiste à appliquer une plaque isochromatique sur un miroir formé de mercure métallique, puis à l'exposer à la chambre noire. Le faisceau lumineux, après avoir traversé l'émulsion, se réfléchit sur le miroir, traverse de nouveau la couche sensible, et produit, au moment de sa rencontre avec les rayons incidents, une interférence. Il se forme par suite, dans l'intérieur de la couche, un système de franges, c'est-à-dire de maxima lumineux et de minima obscurs. Les maxima seuls impressionnent la plaque ; à la suite des opérations photographiques, ces maxima demeurent masqués par des dépôts d'argent plus ou moins réfléchissants qui occupent leurs places. Les

couches sensibles se trouvent ainsi stratifiées, partagées par ces dépôts en une série de lames minces qui ont pour épaisseur l'intervalle qui séparait deux maxima, c'est-à-dire une demi-longueur d'onde de la lumière incidente. Là où l'on voit par exemple du rouge, la distance entre deux dépôts d'argent, c'est-à-dire l'épaisseur de la couche de gélatine qui les sépare, est égale à la demi-longueur d'onde du rouge. Chacune de ces lames minces agit donc comme une bulle de savon capable de réfléchir du rouge, et rien que du rouge. De même, si plus loin on aperçoit du vert, c'est qu'en cet endroit la stratification est plus serrée et que les lames minces n'ont plus pour épaisseur que la demi-longueur d'onde du vert. Il en est de même pour les autres parties du spectre. L'action photographique n'a donc fait que fixer, en la remplaçant par un dépôt d'argent, la position de chaque maximum d'action lumineuse. La vibration lumineuse s'est ainsi moulée dans l'épaisseur de la lame impressionnée. M. C. E. Guillaume résume comme il suit l'analogie qui existe entre les phénomènes acoustiques et le phénomène optique qui nous occupe : « Lorsqu'on produit un bruit sec au voisinage d'une balustrade ou au pied d'un grand escalier, soit en frappant dans ses mains, soit en choquant deux pierres l'une contre l'autre, le bruit se prolonge en un son souvent élevé et légèrement cinglant. La raison du phénomène est évidente : l'onde, composée d'une somme de vibrations quelconques, rencontre successivement les barreaux de la palissade et s'y réfléchit partiellement ; l'oreille reçoit donc une série de chocs, espacés du double de l'intervalle de deux barreaux. Ces chocs étant approximativement équidistants, prennent le caractère d'un son déterminé, tout comme un faisceau de lumière blanche partiellement réfléchi sur les miroirs translucides de la pellicule se

transforme en un faisceau de lumière homogène. On pousserait l'analogie plus loin encore, en provoquant la réflexion du son sur des filets à larges mailles, suspendus verticalement à des distances égales ». Ce qu'il nous importe de remarquer, c'est que les différentes régions de la plaque sensible stratifiée jouent, pareillement au système acoustique cité, le rôle de résonnateurs, chaque région ne réfléchissant qu'une couleur spéciale, celle qui l'avait antérieurement impressionnée, étouffant toutes les autres.

Le même groupe d'analogie embrasserait les phénomènes de résonnances électriques, par exemple ceux qui se passent dans les réseaux de distribution des courants, ou bien ceux qui se produisent entre les postes émetteurs et les postes récepteurs de télégraphie sans fil, organisés de façon que ces derniers ne reçoivent que les ondes correspondant au réglage de leurs appareils, sans être impressionnés par les autres.

La spécificité du pouvoir réactif qui se retrouve dans l'immunité acquise par l'être vivant sortant victorieux de la lutte avec le microbe au cours d'une maladie aiguë, est aussi assimilable à un phénomène de résonnances : l'être vivant se trouve plus apte à résister à une attaque d'un microbe de la même espèce et non autre ; le terrain a accru sa résistance contre cette seule espèce de microbes et non contre les autres. De même, si c'est le microbe qui est sorti victorieux, il aura sa virulence augmentée ; il devient plus virulent par rapport à l'espèce d'être vivants avec laquelle il a lutté, et non contre une autre.

Les médicaments microbiens contenant des albuminoïdes injectés sous la peau ont pour corollaire fréquent des phénomènes d'intolérance dits d'anaphylaxie. Un cobaye, par exemple, qui a reçu jadis sous la peau

une dose minime de sérum quelconque, devient « marqué » pour le reste de ses jours : si quelque temps après, n'importe quand, on lui introduit sous la dure-mère une dose du même sérum tout à fait inoffensive pour tout cobaye ordinaire, il est pris d'accidents d'une extrême gravité et meurt en quelques minutes au milieu de phénomènes graves, convulsifs et paralytiques, suivis d'arrêt de respiration et de mort. Or, cette réaction est bien *spécifique* : l'animal qui a reçu en première injection du sérum de cheval, ne réagit, à la seconde injection, que lorsqu'il est injecté avec du sérum de cheval ; par contre il ne manifeste aucune sensibilité lorsqu'il est injecté avec un autre sérum, celui de chèvre ou de bœuf, par exemple.

Il est vraisemblable que des spécificités pareilles se rencontreront en grand nombre dans des phénomènes d'ordre physiologique. Il est possible qu'elles se retrouvent, par exemple, dans des phénomènes d'excitabilité du centre nerveux lors de la production des actes volontaires, dans l'impressionnabilité spécifique des êtres vivants, etc. Le fait découvert par Helmholtz, qu'un muscle tétanisé volontairement laisse entendre un son qui est le premier harmonique d'une oscillation de vingt périodes par seconde ; le phénomène du « bruit musculaire » découvert également par Helmholtz, montrant que la période de vibrations du muscle s'accorde avec celle de l'excitant et rendant ainsi vraisemblable le fait que les impulsions vibratoires dans les actes volontaires sont d'origine cérébrale ; le fait mis en évidence par MM. Richet et Broca, que toute excitation du centre nerveux produit en même temps, par un processus physiologique, dont le siège est la substance grise cérébrale, une impulsion réactive ; le fait expérimental que la période de ces impulsions réactives

rythmiques est d'autant plus courte que l'acte volontaire qui leur est rattaché est plus énergique, tous ces faits, confrontés entre eux, laissent entrevoir la possibilité de spécificités pareilles aux précédentes dans cette espèce de phénomènes qui se trouverait ainsi assimilables à des phénomènes de résonances.

VIII. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DISPARATES RÉGIS PAR LA LOI GÉNÉRALISÉE DE GIBBS ET LE CHATELIER

Un groupe de phénomènes disparates analogues entre eux ont un noyau consistant dans la loi généralisée de Gibbs et Le Châtelier : la modification produite dans un système à l'état d'équilibre par la variation de l'un des facteurs d'équilibre est de telle nature qu'elle tend à s'opposer à la variation qui l'a déterminée.

Tel est, par exemple, le noyau commun aux phénomènes d'induction électrique : toutes les fois qu'on fait varier le flux magnétique dans une spire ou dans une série de spires en tension, et cela par n'importe quel moyen, les spires deviennent le siège d'une force électromotrice d'induction pendant le temps de la variation du flux, et cette force se traduit par le courant auquel elle donne naissance. Le courant induit a toujours un sens tel qu'il tend à s'opposer à la variation du flux inducteur (loi de Lenz).

Toute lumière tombant sur la rétine provoque, par une rupture d'équilibre, une *réaction négative* mise en évidence par l'expérience de la bande noire de M. Charpentier (un secteur blanc, bien éclairé sur fond noir, tournant avec une vitesse modérée et regardé par un œil immobile, paraît bordé dans le sens de son mouve-

ment par une zone obscure en secteur). La disparition subite de la lumière provoque une *réaction positive*, de sorte que la réaction est toujours inverse à celle que l'excitation directe tend à produire. De là à rapprocher entre eux les phénomènes que produisent sur la rétine la naissance et la cessation de l'excitation lumineuse, et les phénomènes d'induction, il n'y a qu'un pas « d'autant plus que la structure actuellement connue du système nerveux, où les éléments d'un même circuit communiquent par voie de contiguïté et non continuité, rend très probable la production fréquente, sinon habituelle, d'actions induites entre les éléments successifs d'une voie nerveuse donnée » (Charpentier). Mais il y a plus : puisqu'il se produit une réaction inverse au début et à la fin d'une excitation lumineuse, on devrait s'attendre à trouver quelque chose d'analogue au moment où les excitations changent d'intensité. C'est en effet ce que M. Charpentier a vu se produire en faisant croître ou en faisant décroître brusquement une excitation donnée, et il en a tiré la loi suivante faisant rentrer le phénomène dans le groupe d'analogie qualitative que nous examinons ; « tout changement brusque et suffisamment grand « de l'excitation lumineuse d'un point de la rétine détermine une réaction d'un sens inverse à celui du changement qui lui a donné naissance ». C'est à la combinaison de l'excitation directe et de la réaction provoquée que sont dus les phénomènes oscillatoires dont la rétine est le siège.

L'assimilation fonctionnelle des organes, au sens de Le Dantec, développe au cours d'une lutte de l'être vivant précisément les parties de l'organisme qui fonctionnent dans la lutte, celles qui s'opposent aux actions de l'adversaire, qui leur expose lui-même ce qui peut entraver ces actions. Sous ce rapport, le phénomène bio-

logique rentrerait dans le groupe de phénomènes à noyau ci-dessus indiqué.

Comme il a été dit dans ce qui précède, les expériences de MM. Richet et Broca ont mis en évidence l'existence, dans la substance grise cérébrale, d'un processus physiologique donnant des impulsions réactives de sens toujours inverse à celles qui produisent l'influx nerveux, s'opposant à celles-ci et destinées à ramener rapidement à l'équilibre le système quand une excitation produisant la rupture d'équilibre cesse. C'est là un phénomène physiologique du genre précédent.

Dans les phénomènes d'Economie Politique, on attribué le rythme de la production à un fait analogue aux précédents : toute hausse du prix courant au-dessus du prix d'équilibre stimule un accroissement de la production qui finit par déprimer le prix ; tout avilissement du prix courant provoque un ralentissement de la production qui finit par faire remonter le cours.

Le fait que la modification produite dans un système à l'état d'équilibre par la variation de l'un des facteurs d'équilibre est telle qu'elle tend à s'opposer à la variation qui l'a déterminée, se manifeste aussi, sous les formes extérieures les plus disparates, dans une foule de phénomènes de la vie ordinaire, de la politique, etc.

IX. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DISPARATES CONSISTANT EN UN MODE PARTICULIER D'ÉVOLUTION PROGRESSIVE D'UN SYSTÈME PAR LE RENFORCEMENT ITÉRATIF D'UN ÉLÉMENT.

Certaines espèces de phénomènes de natures concrètes variées consistent, en leurs grandes lignes, en un processus de différenciation progressive d'un système d'éléments

présentant entre eux des différences insensibles, par le *renforcement itératif* de la proportion d'un des éléments par rapport à tous les autres et réalisé par un processus itératif, répété consécutivement un grand nombre de fois. Il arrive, par exemple, qu'une cause (ou assemblage de causes) continue ou discontinue, exerçant une action sensiblement égale sur tous les éléments du système à la fois, se traduise, grâce aux différences minimales existant entre les éléments du système, par un très léger, insensible surcroît d'augmentation d'un des éléments par rapport aux autres ; que, par application répétée de la cause, le nouveau léger surcroît vienne s'ajouter au précédent, de sorte que celui-ci s'accroisse de plus en plus par étapes insensibles au fur et à mesure des répétitions consécutives de la cause. Le système se mettra à évoluer lentement et progressivement dans la direction d'un des éléments ; on peut considérer l'évolution comme achevée à partir du moment où le rapport de la quantité de l'élément dans la direction duquel le système évolue, à la quantité collective de tous les éléments, diffère peu d'une certaine valeur, au plus égale à l'unité, vers laquelle ce rapport tend asymptotiquement. L'inverse du nombre d'itérations jusqu'à ce moment pourrait servir à mesurer l'efficacité de la cause considérée dans cette évolution.

L'ensemble de ces faits constitue le noyau d'analogie d'un vaste groupe de phénomènes disparates, embrassant, entre autre, les phénomènes suivants :

1° La sélection naturelle et artificielle s'effectuant sur une longue série de générations, sur un mélange d'organismes peu différents entre eux, combinée à l'hérédité et à l'action du milieu, amènera le renforcement itératif relatif de certains de ces organismes et la formation d'une nouvelle variété ou espèce ;

2° La séparation mécanique des minerais de petite différence quant à leurs poids spécifiques, à l'aide d'une machine centrifuge utilisant, par un nombre suffisamment grand de répétitions, les petites différences de ces poids et faisant renforcer dans le mélange la proportion du corps à poids spécifique le plus élevé ;

3° La séparation des corps chimiques très peu différents entre eux quant aux propriétés chimiques et physiques, à l'aide d'une série d'opérations répétées consécutivement un nombre suffisant de fois, utilisant les différences minimales de leurs propriétés et faisant renforcer itérativement la proportion d'un corps par rapports à tous les autres. Tel serait, par exemple, le phénomène qui se passe lors de la séparation des terres rares par différence légère de solubilité de leurs composés de même espèce chimique, cette différence étant utilisée dans une série longuement répétée (des milliers de fois) de précipitations et filtrations, et en suivant l'évolution du phénomène (la purification) au spectroscope. Les exemples concrets en sont fournis par la séparation de néodyme et proséodyme (Auer von Welsbach), des métaux des terres rares découverts par M. Urbain (lutétium etc.), du radium et baryum (où l'on a utilisé la différence légère de solubilité de leurs chlorures) etc. Tel serait également, entre une foule d'autres phénomènes, celui que se passe lors du « pattinsonage » dans la métallurgie du plomb, ayant pour but de séparer l'argent du plomb et d'obtenir des plombs doux marchands sans coupeller la masse totale du plomb, et à meilleur compte. Le procédé est fondé sur la différence de fusibilité du plomb et des alliages de plomb et d'argent. En laissant refroidir un tel alliage, le plomb cristallise le premier et peut être séparé de la partie restée liquide qui renferme l'argent. On divise ainsi la

masse du plomb en deux parties, l'une liquide enrichie, l'autre enlevée à l'état de cristaux, appauvrie. En faisant subir la même opération à la partie enrichie d'une part, et à la partie appauvrie de l'autre, on obtient d'un côté du plomb encore plus riche et de l'autre du plomb plus pauvre, ainsi que des produits intermédiaires. Au bout d'un nombre suffisant d'opérations on arrive d'un côté au plomb le plus riche, destiné à la corpeellation, et de l'autre au plomb le plus pauvre, qui constitue le métal marchand ;

4° Si l'on répète un grand nombre de fois de suite, à haute voix, quelquefois même seulement mentalement, un mot quelconque du langage courant, de préférence un mot polysyllabique, il arrive que le vocable finit par prendre un caractère étranger et apparaîtra comme un assemblage nouveau de sons, quelque chose de non encore entendu, très différent du mot prononcé dans les conditions ordinaires. La répétition, l'itération d'un même processus mental, a ainsi dissocié dans l'image verbale deux éléments intimement liés d'habitude : le vocable comme image sonore et motrice ; et son image intellectuelle, significatrice. Ce serait peut-être une petite différence des intensités de deux images, sonore et intellectuelle, liées dans l'image verbale, qui se trouverait augmentée itérativement, de plus en plus à force de répétitions, jusqu'au moment où la disproportion des deux intensités est devenue telle que la seconde image s'efface auprès de la première. Telle serait, du moins, l'une des explications possibles du phénomène, qui serait à confirmer ou à infirmer expérimentalement.

X. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DISPARATES CONSISTANT EN UN MODE PARTICULIER DE DISSOCIATION PROGRESSIVE D'UN COMPLEXUS.

Un vaste groupe d'analogie qualitative est constitué par les phénomènes de toutes natures consistant, en leurs grandes lignes, en une sorte de dissociation d'un complexe d'éléments par un même processus dans lequel les différents composants de complexus se comportent de manière *qualitativement* indentique, mais *quantitativement* de manière sensiblement différente. Un tel groupe embrasserait, entre une foule d'autres, les phénomènes disparates suivants :

1° Le phénomène qui se passe lors de la distillation fractionnée de liquides et qui consiste en une sorte de dissociation du complexus formé de plusieurs liquides, par un même processus (l'évaporation) dans lequel les divers composants du complexus se comportent de manière quantitativement différente (ils s'évaporent avec des vitesses différentes) ;

2° Le phénomène qui se passerait lors la séparation de plusieurs corps chimiques, dans un mélange donné, par un même ensemble de réactifs provoquant les réactions chimiques de même espèce avec tous les composants du mélange, mais où l'on aurait utilisé les différences de vitesses de ces réactions respectives ;

3° Le phénomène qui se produit lorsqu'un rayon de lumière composée traverse un prisme réfringent, où le spectre formé représente le signe extérieur de la dissociation du complexus par un même processus (la réfraction) dans lequel les divers composants (couleurs simples) se comportent de manières quantitativement

différentes (ayant les indices de réfraction différents) ;

4° Lorsque l'œil vise, dans une direction fixe, une surface uniformément éclairée par la lumière blanche, et lorsque en même temps un objet noir parcourt rapidement le champ visuel, on constate le phénomène optique suivant : la surface blanche, immédiatement après le passage de l'objet noir, apparaît obscure, avec cette particularité intéressante que la partie de la surface revenue déjà à son éclairage primitif laisse discerner une vive couleur rouge. L'explication du phénomène, donnée par Mascart, se laisse ramener au mécanisme suivant : l'impression sur la rétine, provenant de la surface éclairée, disparaît instantanément pendant le passage de l'objet noir sur la surface, mais elle ne réapparaît pas à l'instant même où l'objet est passé. Elle met un certain retard à réapparaître et ce retard n'est pas le même pour toutes les couleurs du spectre : il est d'autant plus petit que la longueur d'onde caractérisant la couleur est plus grande. Le plus petit retard correspond ainsi au rouge et ce serait la raison de l'apparition du rouge sur la traînée lumineuse laissée par l'objet ; le rouge est suivi par d'autres couleurs du spectre suivant l'ordre des longueurs d'onde correspondantes, mais qui seront masquées par la couleur rouge, la plus vive d'entre elles et apparaissant la première. On a ainsi une sorte de dissociation d'un mélange de couleurs par un même processus (consistant à impressionner l'œil), dans lequel les divers composants du complexe, se comportant de manières quantitativement différentes, présentent des retards différents) ;

5° L'odeur d'un corps, même chimiquement pur, est dans un grand nombre de cas composé de plusieurs odeurs simples, lesquelles, par leur action d'ensemble sur le sens de l'odorat, provoquent une sensation résultante ;

tante. Chacune des odeurs simples est caractérisée par un minimum de perceptibilité déterminé et ses minima ne sont pas les mêmes pour tous les composants du complexus. Si donc, on diminue progressivement la quantité de substance odorante, dès qu'une odeur simple, composant l'odeur complexe considérée, tombe au-dessous de son minimum de perceptibilité, elle deviendra imperceptible et sera éliminée du complexus. En continuant ainsi jusqu'au moment où il ne reste plus que l'odeur simple à plus bas minimum de perceptibilité, on aura décomposé l'odeur complexe en ses éléments simples. M. J. Passy a réussi à dissocier de cette manière les odeurs complexes de plusieurs composés chimiques. En partant, par exemple, d'une dose très faible d'amyl-alcool tertiaire et en l'augmentant progressivement, il a constaté les gradations suivantes des sensations : une dose de 0,0001 gr. de substance, correspondant à un premier minimum de perceptibilité, laisse sentir une odeur rappelant celle de la benzine ; la dose de 0,002 correspondant au deuxième minimum est caractérisée par une forte odeur rappelant celle du camphre ; cette dose dépassée, on sent, comme superposition de ces deux odeurs simples, l'odeur caractéristique propre au corps considéré. On a également constaté que la plupart des odeurs, très agréables lorsque la dose de la substance est faible, devient désagréable lorsque la dose est très forte. La raison en serait la même : l'odeur résultante est composée de deux odeurs simples : l'une plus faible, agréable, à minimum de perceptibilité plus bas, et l'autre plus forte, désagréable, à minimum plus élevé. La dose étant faible, c'est le premier composant qui se fera sentir ; dans la forte dose apparaît le second composant masquant le premier et donnant à l'odeur résultante le caractère désagréable.

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

Ces phénomènes présentent donc une sorte de dissociation d'un mélange d'odeurs en ses composants, par un processus (consistant à une impressionner le sens de l'odorat) dans lequel les divers composants se comportent de manières quantitativement différentes (présentent des minima de perceptibilité différents);

6° La simplification ou purification progressive d'un son par l'amortissement inégal de ses divers sons simples (harmoniques). Les sons simples coexistant dans une même note d'un instrument de musique, donnée par exemple par une seule corde d'un piano, ou par une flûte, s'amortissent, en général, d'autant plus vite que leur fréquence est plus élevée. Par suite, en écoutant la note s'éteindre de plus en plus, on verra le timbre se purifier graduellement par la disparition successive des sons élémentaires les plus amortis, en général les plus aigus, jusqu'à ne plus entendre à la fin le son simple le moins amorti; s'il n'était pas d'intensité trop réduite au début, ce sera le son élémentaire le plus grave de tous;

7° Le changement progressif de couleur de certains organismes marins par suite du changement de milieu présentent une analogie qualitative marquée avec les phénomènes précédents : les pigments, fournissant la couleur primitive, se transforment dans le nouveau milieu avec des vitesses différentes et s'éliminent les uns après les autres, entraînant avec eux l'élimination des couleurs correspondantes ; ce qu'il en reste détermine la couleur résultante. C'est le phénomène du même type que le phénomène optique de Mascart ou bien le phénomène physiologique de M. J. Passy.

Du fait, par exemple, qu'un cristal de tourmaline présente un axe de symétrie ternaire non doublé et trois plans de symétrie passant par cet axe, il résulte que la tourmaline pourra présenter les phénomènes de polarisation diélectrique. On sait, en effet, que la tourmaline, uniformément chauffée ou refroidie (ce qui ne change pas ses éléments de symétrie) est pyro-électrique, et que comprimée suivant son axe (même remarque) elle devient piézo-électrique.

Du fait qu'un diélectrique (par exemple le sulfure de carbone) placé dans un champ électrostatique, forme un système présentant la symétrie d'un tronc de cône, et que la biréfringence d'un cristal uniaxe qui aurait son axe optique parallèle à la direction du champ, présenterait le même mode de symétrie, il résulte que le diélectrique pourra se conduire physiquement comme un tel cristal, ce que l'expérience vérifie.

La superposition, dans un même corps, de deux causes de *dissymétrie*, peut, par les éléments de *symétrie* communs, engendrer des phénomènes particuliers dont la possibilité se laisse ainsi prévoir. Un champ électrostatique, par exemple, et un champ magnétique parallèles, n'ont comme élément de symétrie commun qu'un axe de révolution non dirigé (symétrie du tronc du cône tordu). On peut en conclure la possibilité du phénomène constaté par Wiedemann : si l'on fait passer un courant électrique dans un fil de fer rectiligne aimanté longitudinalement, le fil se tord. Des considérations du même genre conduisent à prévoir que, quand on tord un fil de fer aimanté longitudinalement, il devient le siège d'une force électromotrice qui engendrera un courant dans le fil, fait constaté également par Wiedemann.

Les analogies mathématiques peuvent rendre encore un genre de services pratiques. Il arrive qu'un groupe

d'analogie, réductible à un système d'équations impliquant un ensemble déterminé de faits analytiques, soit composé de phénomènes tels que certains de ces faits analytiques deviennent évidents par leur traduction concrète dans de tels phénomènes, où ils se trouvent en quelque sorte *matérialisés*. Ainsi, certains faits généraux, rattachés à des intégrales curvilignes, deviennent évidents dans les phénomènes hydrodynamiques ou électriques embrassés par le groupe d'analogie où le noyau les implique et dans lesquels ils se trouvent matérialisés. Certains faits géométriques qui se rencontrent dans la théorie des surfaces minima deviennent évidents lorsqu'on les voit matérialisés dans les phénomènes capillaires, par exemple ceux des expériences de Plateau. Un grand nombre d'équations différentielles impossibles ou difficiles à intégrer, se trouvent intégrées *mécaniquement, hydrauliquement, électriquement, etc.* par la courbe d'allure d'un phénomène convenablement choisi : mécanique, hydraulique, électrique, etc., du groupe d'analogie où ces équations interviennent. Certains types d'équations, parmi lesquelles la célèbre équation de Riccati, se laissent intégrer *chimiquement* par les dosages directs, répartis à divers instants au cours de la réaction, des quantités de produits d'une réaction chimique convenablement choisie et faisant partie du groupe d'analogie correspondant.

En remarquant que les points-racines β_i de la dérivée d'un polynôme représentent la position d'équilibre d'un point P repoussé par les points racines α_i du polynôme lui-même en raison inverse de leurs distances au point P, certaines relations analytiques difficiles à démontrer par les calculs entre les racines α_i et β_i se trouvent matérialisées par ce phénomène mécanique et deviennent par cela même évidentes (F. Lucas). — Les oscillations

d'un pendule de longueur variable, réalisé par exemple au moyen d'un poids suspendu à la corde d'un treuil, sont régies par une équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients variables, qui s'intègre par des fonctions cylindriques : le mouvement considéré fournit une image très nette de la marche de ces fonctions qui se trouve ainsi matérialisé (L. Lecornu).

Les analogies qualitatives mêmes, outre les services qu'elles peuvent rendre en amenant à prévoir des faits, en suggérant des mécanismes possibles inexpliqués, en conduisant à des expériences à faire, à des recherches à entreprendre, sont aussi en état de suggérer des *artifices* pour réaliser tel ou tel but scientifique ou pratique échappant aux procédés communs. Il est, par exemple, vraisemblable que le même artifice qui a réussi à Mascart pour décomposer les couleurs composées en couleurs simples par la gradation du retard des impressions lumineuses, et à J. Passy pour décomposer les odeurs complexes en odeurs simples par la gradation de leur minimum de perceptibilité, suggèrera l'idée d'autres applications concrètes intéressantes. Il est de même vraisemblable que l'artifice du renforcement itératif, servant à la séparation mécanique de minerais peu différents entre eux, à l'aide de machines centrifuges utilisant les différences minima de leurs poids spécifiques, ou bien servant à la séparation chimique de corps à propriétés très peu différentes, rencontrera aussi d'autres applications, comme par exemple la séparation des espèces de microbes très peu différents entre eux par leurs propriétés, et qui se trouveraient mélangés dans un organisme ou dans une culture microbienne. Remarquons, d'ailleurs, que le même artifice sert de base à un procédé purement analytique : à l'ingénieuse méthode de séparation des racines des équations algébriques, consistant à renforcer,

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

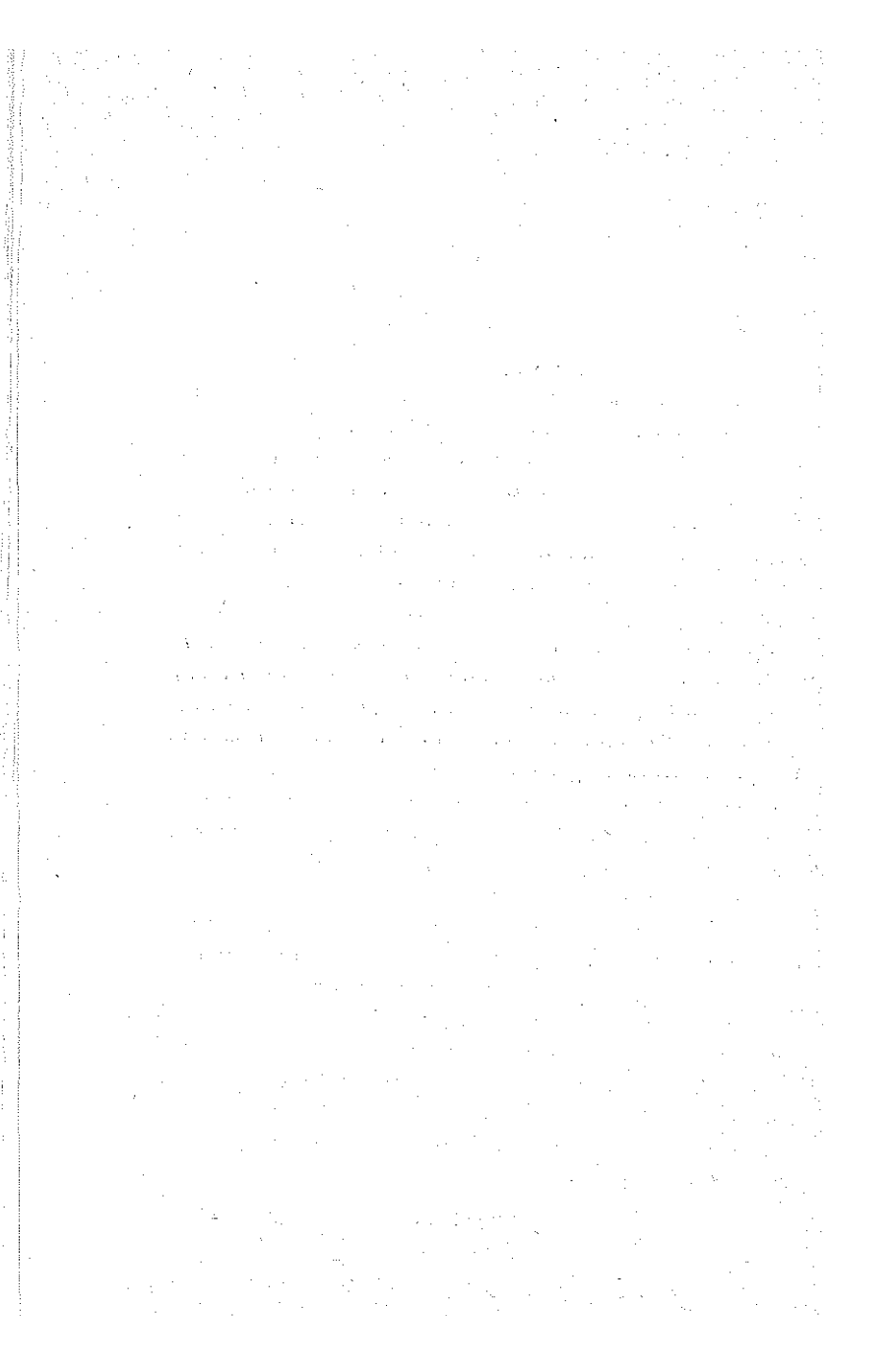
par une transformation itérative répétée un nombre suffisant de fois, le rapport de module d'une des racines à la somme de modules de toutes les racines de l'équation (méthode de Graeffe pour la résolution des équations algébriques).

Il ne faut pas, cependant, oublier que les analogies ne sont un guide sûr et infaillible qu'en ce qui se trouve impliqué dans les noyaux même d'analogie ; sorties de là, les conclusions qu'on en tirerait peuvent être aussi peu certaines que celles qu'on ferait par l'extrapolation d'une courbe dont on ne connaîtrait que quelques points. Comparaison n'est pas raison, dit un vieil adage. Les abus qui ont été commis, par exemple, à l'occasion de la théorie darwinienne, en essayant de transporter la doctrine dans des domaines de phénomènes où elle n'avait rien à faire, où les noyaux d'analogie qu'on croyait avoir remarqués ne contenaient que peu de chose de commun avec le grand processus naturel de changement des espèces, le montrent d'une manière éclatante. L'essai connu d'assimiler les genres littéraires à des espèces biologiques et de transformer la doctrine analogue de l'évolution de ces genres, en fournit un exemple intéressant et instructif. Comme il ressort clairement de ce qui précède, l'analogie, même parfaite, d'allures ne rend pas légitime la conclusion à l'identité de mécanismes. Pour qu'une telle conclusion soit légitime, *il faut que le noyau d'analogie contienne un nombre suffisant de faits touchant les mécanismes mêmes des phénomènes que l'analogie embrasse.*

On peut, d'ailleurs, par l'exemple suivant, se rendre compte de quelle manière précise, simple et condensée, le noyau d'analogie peut résumer les particularités réellement communes de mécanisme et d'allure d'un groupe de phénomènes analogues, lorsque cette analogie est ef-

fective et suffisamment complète. A tout phénomène *conservatif*, quelle que soit sa nature concrète et sa complexité, on peut faire correspondre une *variété* V d'un ordre déterminé dans l'hyper-espace, dont la forme dépend de l'ensemble de forces appliquées et de liaisons, qui est une sorte d'expression figurative du mécanisme — type auquel le phénomène est dû, et à laquelle se rattache la propriété remarquable que l'allure du phénomène, avec toute ses particularités, n'est qu'une traduction convenable de particularités analytiques rattachées aux lignes géodésiques de V . Ainsi, tout phénomène appartenant au groupe d'analogie mathématique dont fait partie le mouvement d'un point matériel dans un plan sous l'action de forces centrales fonctions de distance, admet comme variété V une surface de révolution. Et alors :

Pour qu'un groupe de phénomènes conservatifs soit un groupe d'analogie mathématique parfaite, il faut et il suffit que son noyau d'analogie contienne, comme partie intégrante, le fait de l'existence d'une variété V commune aux phénomènes du groupe.



CONCLUSION

L'aphorisme de Sir William Thomson : « comprendre un phénomène, c'est pouvoir établir son modèle mécanique » trouve son explication et sa justification dans ce que nous avons exposé aux chapitres précédents, si l'on convient d'attribuer aux expressions *comprendre* et *modèle mécanique* le sens large et élastique qu'elles comportent, sens résumé dans l'Introduction de ce livre.

Nous croyons que de cet exposé se dégage en même temps l'impression que, si la *Mécanique Universelle* est un rêve, un idéal à jamais inaccessible, un point asymptotique de la marche des connaissances humaines dans la direction duquel les efforts seront constamment dirigés sans jamais l'atteindre, il n'en est pas de même d'une *Phénoménologie Qualitative* au sens des considérations précédentes et qu'il ne serait peut-être pas prématuré et téméraire d'y penser dès à présent. Nous croyons qu'elle pourrait déjà être esquissée, en ses grandes lignes, comme une première étape prémathématique vers l'idéal asymptotique. Une telle conviction nous paraît justifiée par l'ensemble des considérations suivantes :

1° En premier lieu, par le fait que les *types de rôles*, au sens où ils sont considérés dans cet ouvrage, sont indépendants de la nature concrète de leurs porteurs et que, par suite, ils peuvent être joués par des facteurs de toutes sortes et non pas seulement par des facteurs géométriques et mécaniques ;

CONCLUSION.

2° En second lieu, par le fait que les combinaisons déterminées de types de rôles, constituant le mécanisme d'un phénomène, impliquent des particularités déterminées d'allure du phénomène se laissant décrire d'une manière *uniforme* pour les phénomènes de toutes espèces ;

3° En troisième lieu par le fait que, lorsqu'il ne s'agit que des particularités *qualitatives* des phénomènes, les moyens d'investigation, souvent fort simples, sont dans la plupart des cas plus efficaces que les instruments précis d'investigations quantitatives et permettent souvent de pénétrer là où ces derniers, à cause de leur finesse même, de leur précision et des conditions qu'ils exigent, restent inefficaces. Les courbes, par exemple, dont les équations se trouvent impliquées dans des équations différentielles ou fonctionnelles données et sont dans un grand nombre de cas impossibles à connaître sous la forme explicite précise, se laissent, au contraire, étudier qualitativement par des moyens très simples, sans passer par l'intégration des équations. L'on peut en connaître ainsi une foule de particularités qualitatives comme le sont : la croissance ou la décroissance dans un intervalle considéré de la variable indépendante, l'existence des maxima ou des minima, le caractère oscillant, périodique, discontinu ; l'existence des asymptotes ou des points asymptotiques, etc. De telles particularités peuvent même représenter ce qu'il importe le plus de connaître dans un cas considéré, de sorte que, le problème qui aurait arrêté l'analyste rigoureux ne voulant rien savoir sur ce qui n'est pas représenté par une formule précise, se trouve d'un coup résolu et sans déployer l'appareil analytique que comporterait la solution quantitative du problème. On arrive même très souvent à se rendre compte des particularités intéressantes des courbes de phénomènes

directement sur les circonstances qui leur donnent naissance, sans même être obligé de passer par aucune espèce d'équations; ni explicites ni différentielles, qui seraient indispensables si l'on voulait suivre le chemin ordinaire. La connaissance simultanée directe d'un faisceau de telles particularités, rattachées à divers éléments caractéristiques d'un phénomène, même complexe, sans avoir besoin ni possibilité de le mettre en équations. pourra amener à dégager ou à entrevoir ce qui est le plus intéressant dans l'image complexe du phénomène. Les considérations exposées dans cet ouvrage fournissent une foule d'exemples à l'appui de cette thèse;

4° En quatrième lieu, par le fait qu'en attribuant des *types de rôles collectifs* à des ensembles non analysables de facteurs, on peut arriver à saisir les types de mécanismes très complexes sans qu'il soit indispensable de décomposer la collectivité en éléments qui la composent ni de connaître le rôle individuel de chaque composant.

Ce dernier point exige, cependant, quelques explications que nous fournirons pour écarter le reproche de trop grandes simplifications là même où la complexité saute aux yeux et où comprendre ne doit nullement signifier simplifier.

Un phénomène concret peut être en corrélation avec un très grand nombre de faits jouant un rôle dans son existence. Sa description même, si elle devait embrasser tous ses détails, exigerait un nombre considérable, parfois illimité, d'éléments descriptifs correspondant aux divers points de vue auxquels le phénomène peut être considéré. Au lieu de la faire, on extrait du complexe de particularités d'allure du phénomène celles qui se rattachent au point de vue spécial auquel on s'intéresse, on leur rattache un ou plusieurs éléments descriptifs convenablement choisis inférieurs à celui qu'on aurait

CONCLUSION

dans la description intégrale du phénomène, et l'on aura sa description à ce point de vue particulier par celle du mode de changement des éléments choisis. On détache ainsi du phénomène intégral complexe un phénomène plus simple représentant l'un de ses aspects et l'on ne porte l'attention que sur celui-ci. De la même manière, pour saisir complètement le mécanisme intégral du phénomène complexe l'expliquant en tous ses détails, il faudrait connaître tous les faits, en nombre souvent excessivement grand, jouant un rôle dans l'existence du phénomène, les natures individuelles de chacun de ces rôles et la manière dont toutes les particularités du phénomène s'en suivent du fait de leur combinaison. Dans l'impossibilité où l'on serait de le faire, on rattache simplement à une collectivité, même non analysable, de faits, faisant partie du mécanisme intégral, un type de rôles choisi de manière que, combiné avec les autres déjà connus, il achève de rendre saisissables les particularités caractérisant le phénomène simplifié, ou bien y contribue. C'est ainsi qu'on est conduit à attribuer une tendance impulsive transformatrice à la collectivité de faits inconnus intervenant dans le processus intime des réactions chimiques, à attribuer des affinités aux éléments ; à désigner par l'activité diastasiqne le rôle d'une collectivité non analysable d'agents qu'on ne connaît que par ce rôle même d'une importance capitale dans les phénomènes vitaux ; à attribuer divers autres rôles à des collectivités de faits dans les phénomènes biologiques, sociaux, politiques, etc. jusqu'aux phénomènes mêmes de la vie ordinaire.

Lorsque, avec les progrès des connaissances, la collectivité deviendra analysable, de sorte que le rôle qui lui a été primitivement et provisoirement assigné se laissera décomposer en un complexe de rôles partiels

déterminés, rattachés à des composants de la collectivité, cela n'infirmes pas le type de mécanisme primitif, mais viendra seulement le compléter et amener l'explication de détails qu'il ne pouvait pas fournir. Une telle manière de simplifier, consistant à attribuer un type déterminé de rôles à des collectivités, consiste donc, en somme, à procéder *par approximations successives*, une approximation plus grande n'infirmant pas l'approximation précédente plus vague, mais la rendant plus précise et s'accordant ainsi avec la marche générale des connaissances s'effectuant elle-même aussi par étapes successives.

Une voie naturelle pour l'édification d'une Phénoménologie qualitative se trouve indiquée par l'ensemble de ce qui est exposé aux chapitres précédents. Elle consisterait en un groupement préalable des phénomènes disparates suivant les analogies d'allures et de mécanismes, dans la mise en lumière des *noyaux d'analogie* et dans l'étude des types de mécanismes contenus dans ces noyaux au point de vue des faits généraux qu'ils impliquent et entraînent. Une telle étude se ferait en formant déductivement des schémas pareils à ceux du chapitre III de cet ouvrage et suggérés par des noyaux mêmes d'analogie ; elle serait du ressort de l'analyse mathématique si le noyau appartient à un groupe d'analogie mathématique, ou se ferait par des raisonnements directs ou par des procédés graphiques lorsque le noyau est de nature qualitative.

Un travail, intéressant à cet égard et aussi en lui-même, et qu'il serait déjà possible de faire, consisterait, par exemple, en un recensement, en une nomenclature et une classification des types de rôles connus qui se rencontrent dans les phénomènes disparates de toutes natures et qu'on analyserait jusqu'aux limites actuellement possibles. Il est bien remarquable qu'avec un

CONCLUSION

nombre limité de pareils types, un nombre considérable de combinaisons est possible, qui, revêtues de significations concrètes infiniment variées par lesquelles elles peuvent se traduire extérieurement dans le monde de phénomènes concrets, engendrent la prodigieuse diversité des phénomènes.

A ce propos, il serait peut-être intéressant de faire un recensement des comparaisons, assimilations, métaphores qu'on a fait jusqu'à présent dans les sciences, dans la poésie, dans la littérature, dans les proverbes, dans les adages de tous les peuples et de tous les temps. Le scrutin d'un pareil matériel en ferait choisir ce qu'il y aurait d'intéressant au point de vue phénoménologique, c'est-à-dire les comparaisons dans lesquelles se laisseraient discerner des noyaux réels d'analogie communs à des phénomènes disparates, et en particulier la ressemblance de rôles de facteurs disparates entraînant la ressemblance de faits. Les noyaux pareils seront composés de faits de diverse importance phénoménologique, depuis les vérités profondes qui ne se laissent révéler que par l'analyse mathématique, jusqu'aux faits évidents, banals même, avec toutes les transitions possibles. Mais quelle que soit leur importance phénoménologique intrinsèque, les noyaux d'analogie ainsi accumulés faciliteraient certainement le groupement de phénomènes de toutes sortes suivant les particularités phénoménologiques qu'ils présentent en commun permettraient de *caser* des phénomènes disparates dans de mêmes *moules*, et fourniraient en même temps des exemples [concrets aux divers schémas généraux destinés à constituer la Phénoménologie Générale.

Le travail préliminaire de recensement et de classification de rôles serait suivi par celui de la schématisation de conséquences générales qu'impliquent diverses com-

binaisons de types de rôles, les combinaisons prises en considération étant calquées sur celles qui se rencontrent effectivement dans les noyaux d'analogie déjà dégagés. Au fur et à mesure que le nombre de groupes d'analogie, et avec lui aussi celui de noyaux d'analogie, augmentera, le nombre et la diversité de ces combinaisons augmentera et finira par former un matériel abondant qui constituera la branche de Philosophie Naturelle que nous avons en vue. Par son mode même de naissance, celle-ci se trouverait exempte du défaut que présentent les généralisations pareilles : de faire regarder les faits de trop loin et de ne les voir qu'en gros. Elle fournirait, au contraire, des instruments précis permettent de pénétrer jusque dans les menus faits des phénomènes, dans leurs plus petits détails. Elle présenterait aussi l'avantage de prévoir des faits concrets, de suggérer des explications, des recherches et des expériences à faire, comme le laissent entrevoir les exemples indiqués au cours de cet ouvrage.

Encore une dernière remarque : dans l'état primitif des connaissances humaines, on s'expliquait les phénomènes de la Nature en personnifiant les agents naturels et en attribuant ce qui se passe à leurs divers gestes et actes ; la mer parlait ; les esprits, les démons, les divinités de toutes sortes, représentant des principes, luttaient entre eux et l'issue de la lutte déterminait les phénomènes ; telle divinité personnifiait le temps ou la durée, une autre l'espace, une troisième la force des éléments ; le mythe saisissant de Némésis symbolisait le principe compensateur, régularisateur, la fatalité régulatrice, chargée de tout ramener à la mesure et de châtier l'excès dans le monde physique et dans le monde moral.

Avec les progrès des connaissances, ces entités poétiques se sont trouvées remplacées par des entités bien

CONCLUSION

plus prosaïques : par des *types de rôles*, qui sont à la portée des connaissances humaines, qui pénètrent jusqu'aux plus petits détails des phénomènes de toutes sortes et les règlent, le mode de réglage se laissant saisir en lui-même et dans les conséquences qu'il entraîne. Chronos et Rhéa ont cédé la place au rôle de la grande variable indépendante éternelle, le temps ; Eros au type de rôle de cause centrale, variant en fonction de distance ; Eole, maître du vent, au type de rôle de cause grandissant avec l'obstacle qui lui est opposé ; la saisissante Némésis s'est trouvée remplacée par le type de rôle régulateur ou compensateur, qui se faufile jusque dans les menus faits du monde des phénomènes, en imposant, par exemple, la régularisation de la vitesse du volant de la machine à vapeur, la régularisation de la pression osmotique dans l'organisme, la régularisation de la respiration par les bulles gazeuses à la surface de certains organismes aquatiques, la compensation entre la variation des amplitudes de respiration chez un animal et les changements de leurs fréquences lors des rétrécissements et des dilatations des voies respiratoires, l'action régulatrice de l'offre et de la demande dans les phénomènes économiques ; la Fatalité est devenue la logique des choses, la nécessité de faits, etc. Ce sont des entités du genre de celles qui règlent les phénomènes mécaniques et physiques, les types de rôles, dont on ne connaît peut-être actuellement que les plus simples, qui, pareils aux éléments chimiques dont les combinaisons engendrent la diversité de la matière, engendrent de leur côté, par leurs combinaisons, la diversité des phénomènes naturels. Qui sait si la découverte d'un type de rôle entièrement nouveau ne fournira d'explications inespérées des phénomènes aujourd'hui inexplicables et n'ouvrira des champs nouveaux à l'investigation de la Nature ?

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	I
-------------------	---

CHAPITRE I. — Particularités communes aux allures des phénomènes.

I. DESCRIPTION SCHÉMATIQUE DES ALLURES. — Éléments descriptifs. — Système descriptif. — Configuration du système. — Le phénomène consiste dans les modifications de la configuration du système descriptif au cours du temps.....	31
II. ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS. — L'arbitraire dans ce choix..	33
III. ALLURE D'UN ÉLÉMENT. — Représentation graphique des allures. — Description quantitative et description qualitative des allures. La description qualitative est possible pour les éléments de toutes sortes et de toutes natures concrètes.....	36
IV. ALLURE DU PHÉNOMÈNE. — Elle est représentée par l'image collective résultant de la simultanéité des allures individuelles des éléments. — Allure schématisée du phénomène.....	39
V. PARTICULARITÉS COMMUNES D'ALLURES. — Ressemblance d'allures. — Ressemblance quantitative et ressemblance qualitative d'allures.....	42
VI. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES ALLURES. — Point figuratif du phénomène. — La description de l'allure	

TABLE DES MATIÈRES

du phénomène se ramène à celle du mode de mouvement de son point figuratif. — Trajectoire du point figuratif. — Éléments géométriques et éléments cinétiques de l'allure du phénomène. — La ressemblance d'allures consiste en ressemblance, soit des trajectoires, soit des modes de mouvement des points figuratifs le long de leurs trajectoires.

46

CHAPITRE II. — Particularités communes aux mécanismes des phénomènes.

I. RÔLES. — Le rôle et sa nature. — Ressemblance de rôles. — Ressemblance quantitative et qualitative de rôles

52

II. TYPES DE RÔLES. — Types de rôle et leur désignation. — Rôle d'élément descriptif ; rôle de cause ; rôle de liaison ; rôle d'obstacle ; rôle de terrain. — Analyse du rôle de cause : tendance modificatrice rattachée à la cause ; objet direct de la tendance ; l'inertie opposée à la tendance ; coefficient d'inertie ou l'inertie spécifique ; sens de la tendance ; lois permanentes rattachées au mode de variation de la cause ; formes spécifiques de telles lois ; coefficient d'activité de la cause ; action simultanée de plusieurs causes ; composantes d'une cause dans les directions respectives des éléments du système. — Rôle de cause directe. — Rôle de cause indirecte. — Rôle de cause impulsive. — Rôle de cause dépressive. — Rôle de cause à loi quantitative connue. — Rôle de cause à particularités qualitatives connues. — Rôle de cause résistante. — Rôle de cause réactive. — Rôle de cause brusque. — Rôle de cause instantanée. — Rôle excitateur ou provocateur. — Rôle régulateur ou compensateur. — Rôle coordonnatif. — Rôle d'inertie. — Rôle d'objet direct de la cause. — Rôle de liaison fixe. — Rôle de liaison déformable. — Rôle de liaison de corrélation. — Rôle de liaison unilatérale. — Rôle désigné par com-

XI. — ANALOGIES DES PHÉNOMÈNES DE CRISES ÉCONOMIQUES
ET DES MALADIES

Une crise commerciale de durée relativement courte, mais très apparente par les désastres qu'elle cause, est toujours précédée d'une période préparatoire plus longue, pendant laquelle se montrent et s'accroissent divers symptômes révélateurs laissant prévoir ce qui se prépare. Elle est toujours suivie par une liquidation plus ou moins prompte après laquelle recommence un régime normal qui va durer pendant un certain temps, jusqu'au retour d'une nouvelle phase préparatoire de crise qui amènera le même cycle de changements d'allure du phénomène.

Telle serait également l'allure d'un grand nombre de maladies. Celles-ci commenceraient par une phase préparatoire, pendant laquelle se montrent et s'accroissent divers symptômes révélateurs permettant le diagnostic de ce qui va se passer. La gravité de la maladie augmente de plus en plus et finit par engendrer la crise (phase aiguë) d'une durée relativement courte, mais très apparente par ses effets. A la sortie de la crise, on entre dans une phase de plus ou moins prompte convalescence, après laquelle recommence une phase de santé normale qui va durer jusqu'à l'apparition d'une nouvelle maladie. Si la maladie est chronique, les phases normales et pathologiques se succèdent de la même manière que dans le phénomène économique. La crise commerciale correspondrait à la phase aiguë de la maladie, la liquidation à la phase de convalescence, le retour au régime normal à la guérison, etc.

Comme nous l'avons indiqué, l'allure du phénomène

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

économique se trouverait expliquée par l'action de deux causes, l'une impulsive (esprit de spéculation, amenant une tendance à l'augmentation du mouvement des affaires) croissant d'abord et subissant ensuite un arrêt, l'autre dépressive à retard et à croissance proportionnée à celle de l'effet de la cause impulsive correspondant à une époque antérieure (le rôle d'une telle cause dépressive étant joué par l'accumulation des échéances provenant des opérations à terme engagées dans des transactions antérieures).

Or, il existe vraisemblablement des maladies dont le mécanisme appartiendrait à ce même type et où la cause impulsive croissante et subissant ensuite un arrêt se retrouverait, par exemple, dans l'action destructive de bacilles dont la multiplication de plus en plus croissante se trouve ralentie à un certain moment par des circonstances de terrain ou par une autre cause, et où la cause dépressive retardée de la nature précédente apparaîtrait sous la forme de tel ou tel agent analogue, par son mode d'action, à celui provenant de l'accumulation des échéances dans le phénomène économique.

XII. — ANALOGIE DU PHÉNOMÈNE DE PRODUCTION DES ACTES VOLONTAIRES ET DES PÉRIPÉTIES D'UNE BATAILLE RANGÉE.

De semblables analogies qualitatives peuvent exister entre les phénomènes les plus éloignés les uns des autres, embrassant jusqu'aux phénomènes communs de la vie vulgaire. Ainsi l'analyse du processus de la production des actes volontaires, exposée dans le chapitre précédent, fait ressortir l'analogie du phénomène psychologique avec les péripéties d'un combat de deux armées oppo-

sées. Les deux assemblages de causes impulsives et dépressives, représentées dans le phénomène psychologique d'un côté par les tendances motrices rattachées à divers états de conscience et passant à l'acte, de l'autre par des tendances antagonistes rattachées particulièrement à des éléments affectifs de la conscience et s'opposant au passage à l'acte, peuvent être assimilés à deux armées ennemies mises en présence, l'une d'offensive, l'autre de défensive. Le caractère général de l'individu serait à assimiler au terrain de combat, et son pouvoir coordinatif à la discipline dans les armées, unifiant les efforts et les faisant converger vers un but déterminé, avec une subordination hiérarchique de divers éléments composants les armées. La forme du combat, son allure, sa modération ou sa brusquerie, sa simplicité ou sa complexité, ses péripéties, son résultat final, dépendront de la composition, de la qualité des forces relatives des armées en présence, des particularités du terrain, des ordres supérieurs donnés dans le haut commandement par l'état-major, et de la manière dont ces ordres seront exécutés par les subordonnés.

Chez l'enfant, le sauvage, l'homme primitif, la composition des armées est extrêmement simple. L'armée d'offensive se compose d'éléments peu nombreux mais très forts, brusques, presque irrésistibles (impulsions instinctives, réflexes). L'armée opposée est, au contraire, très faible (éléments affectifs); s'il y a quelques soldats dans cette armée, c'est toujours la crainte ou la terreur. Le terrain est aussi très simple, uni: les instincts à satisfaire des besoins animaux. La lutte sera elle-même très simple, courte, brusque: le passage à l'acte est immédiat, si l'idée impulsive est plus forte que la crainte, ou bien l'acte ne se produira pas du tout et c'est la crainte qui l'emportera sur l'idée.

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

Avec une intelligence plus avancée et une expérience de vie plus longue, la composition et la qualité des armées, ainsi que le terrain de combat, changent. Une foule de péripéties sont possibles au cours de la lutte. Il y a, d'abord, des actes dus aux éléments instinctifs, aux simples soldats de l'armée, ne réfléchissant pas, ne sentant rien, faisant aveuglément et automatiquement ce qu'ils ont à faire (actes automatiques, réflexes, actes d'habitude). Il y a ensuite les actes dus aux éléments d'une échelle supérieure à ceux de la première catégorie (actes produits par les sentiments, les émotions, les passions). Il y a, enfin, des actes dus aux éléments les plus élevés, aux officiers et à l'état-major de l'armée (actes dus à la raison, à des idées directrices, régulatrices). C'est cette dernière catégorie d'éléments qui introduit la coordination, la discipline, l'unité dans l'armée.

Tant que tout cela est à l'état normal, les armées composées régulièrement, bien disciplinées, chacun des deux côtés ennemis étant commandé par son état-major respectif et opérant sur un terrain ordinaire, le combat se poursuivra d'une manière presque la même pour le gros des gens normaux et l'issue, dans des circonstances données, se laissera, la plupart du temps, prévoir. Mais si l'une ou l'autre des armées est en état d'infériorité, si elle n'est pas ce qu'elle serait dans les cas normaux, ou bien si son action est gênée par des déficiences du terrain, l'allure de la lutte, ainsi que son issue, s'écarteront de l'allure et de l'issue normales. Si, par exemple, l'armée d'offensive est d'une force sensiblement inférieure à la normale (individu affecté d'un affaiblissement de sensibilité faisant qu'il se laisse difficilement émouvoir par une idée qui mettrait tout en mouvement chez un individu normal) l'armée de défense aura le

dessus et l'issue de la lutte sera l'indolence, l'inaction. Si, l'armée d'offensive étant normale, l'armée de défense est d'une force sensiblement supérieure à celle des cas normaux (par exemple un sentiment de crainte grossi outre mesure), la lutte peut encore aboutir à l'inaction (c'est, par exemple, le cas de l'individu normal, ne pouvant faire un mouvement et s'arrêtant bientôt au milieu de la rue lorsqu'il s'y voit seul). Il peut arriver que dans l'armée d'offensive se trouvent de simples soldats extraordinairement impulsifs, exubérants, indisciplinés, qui, rompant les rangs et sans qu'on ait eu le temps ou la force de les retenir et de leur barrer le chemin, deviennent en un clin d'œil, par l'assaut, maîtres du champ de bataille (éléments impulsifs subits, brusques, trop rapides ou trop intenses, suivis d'une exécution immédiate, sans que l'entendement ait eu même le temps d'en prendre connaissance). Parfois, ce sont des brutes de l'armée, très bien connues des officiers, mais ceux-ci se trouvant incapables de les faire tenir dans les rangs (impulsions irrésistibles, et pourtant conscientes, à voler, à incendier, à s'enivrer). Comme contraste à ce cas apparaît celui où le haut commandement est indécis et tient trop de conseils ; il en résultera une lutte chancelante qui traînera sans aboutir à un résultat décisif (cas où les éléments supérieurs dans la production des actes prennent trop d'influence, où il y a trop de délibération et des consultations intérieures, des raisonnements, des calculs, des conséquences et de leurs poids ; il en résultera l'irrésolution, une activité chancelante). Les accidents du terrain peuvent aussi entraver ou même complètement paralyser l'action de l'une ou l'autre armée, malgré leur composition normale, malgré la discipline parfaite et les ordres de l'état-major (l'impuissance générale de réaction, qui marque une faiblesse de caractère,

en présence d'une idée impulsive normale accompagnée d'un sentiment normal de terreur, peut amener un arrêt presque complet de toute action et l'individu paraît stupide sans l'être). Le manque de discipline peut faire que chaque soldat agisse à sa guise; dans le désordre général de la lutte, ce sont, la plupart du temps, les soldats brutaux, les plus forts, qui auront raison des autres et remporteront la victoire (cas d'anomalie du pouvoir coordinatif, l'histoire des extravagances, des violences, des crimes, qu'on commet à l'état d'ivresse).

L'analogie se poursuit jusque dans l'épilogue de la lutte. Une lutte physique exige toujours un certain *effort* et est accompagnée d'un sentiment plus ou moins intense de *fatigue*. Il en est de même lorsque les idées passent à l'acte. L'effort qu'on sent, ou bien directement, ou bien par la fatigue qui l'accompagne, révèle la lutte qui se passe dans l'individu à ce moment. Cet effort peut, en général, avoir une double nature : l'une consiste à arrêter les mouvements de l'instinct, de la passion, de l'habitude, de la haine : l'autre à surmonter la mollesse, l'indolence, la torpeur, la timidité, la crainte. L'un est un effort à effet négatif, l'autre un effort à effet positif; l'un produit un arrêt, l'autre une impulsion. L'effort n'a jamais lieu lorsque l'impulsion coïncide avec ce qu'ordonnent les éléments supérieurs, la raison, les idées régulatrices; tous les éléments ont une même direction, et il n'y a pas de lutte. Au contraire, il a toujours lieu quand deux groupes de tendances antagonistes luttent entre eux. La fatigue qui accompagne toujours ces luttes (le cas, par exemple, de l'individu qui après une longue hésitation, après une pénible délibération intérieure, prend le parti de mettre de l'arsenic dans le verre d'un ami pour l'empoisonner) est le signe extérieur palpable de ce qui se passe à l'intérieur.

XIII. — ANALOGIES DE NOMBREUX PHÉNOMÈNES DISPARATES
ET DES LUTTES

D'une manière générale, les analogies qualitatives pareilles aux précédentes font assimiler, dans un langage imagé, un grand nombre de phénomènes à des *lutttes* dont les circonstances, les péripéties, l'issue et les épilogues illustrent d'une manière plus ou moins parfaite ce qu'on a en vue dans le phénomène. Le suggestif ouvrage de F. Le Dantec, *La lutte universelle*, montre bien la possibilité d'exposer sous une telle forme de narration l'histoire de phénomènes de toutes sortes. L'équilibre et le mouvement de corps peuvent être assimilés au contrebalancement et à l'issue de la lutte de forces mécaniques entravées par des liaisons auxquelles le système mobile serait assujetti. Les réactions chimiques se laissent concevoir comme résultats de luttes des affinités de divers éléments et groupements fonctionnels chimiques ; toute digestion serait une lutte de diastases ; une grande partie de la pathologie consisterait dans l'histoire des luttes des activités diastasiques. Lorsqu'un microbe est introduit dans le milieu intérieur d'un vertébré, il agit d'abord par ses diastases sur les colloïdes du milieu, remplissant tous les interstices laissés libres par les cellules vivantes, et secondairement, sur les éléments histologiques baignés par le milieu. Une lutte s'engage entre le microbe et l'être vivant. Alors :

1° Ou bien l'être vivant l'emportera dans la lutte et assimilera le microbe ;

2° Ou bien c'est le microbe qui l'emportera et assimilera l'être vivant ;

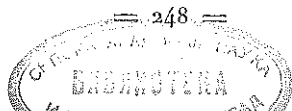
ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

3° Ou bien un équilibre s'établira entre les deux adversaires. Dans les cas 1° et 2° la période de lutte sera une *maladie aiguë* ; l'adversaire qui sortira victorieux de la lutte, en sortira plus apte à lutter de nouveau dans les circonstances pareilles (le microbe y aurait gagné une augmentation de virulence par rapport à l'espèce de l'être vivant vaincu, et l'être vivant attaqué acquérera l'immunité par rapport à l'espèce considérée de microbes). Dans le 3° cas, il y aura une *maladie chronique* ou *symbiose*, une sorte de *paix armée* entre les deux adversaires.

D'ailleurs, tout ce qui a été dit, au courant du présent ouvrage, sur les mécanismes généraux ou spécifiques des phénomènes pourrait être transformé en histoire de luttes, une telle assimilation ayant pour base l'analogie qualitative entre les péripéties de luttes et ce qui se passe dans le phénomène considéré.

XIV. — ANALOGIES QUALITATIVES EXPRIMÉES PAR DES COMPARAISONS, ASSIMILATIONS ET MÉTAPHORES

Ce sont également des analogies qualitatives partielles, souvent même assez vagues, qui suggèrent les innombrables assimilations employées à chaque instant pour parler à l'imagination ou pour rendre plus clair ou plus expressif ce qu'on voudrait mettre en évidence dans un phénomène. L'analogie n'embrasse souvent qu'un nombre fort restreint de particularités et d'un ordre secondaire ; elle n'en donne pas moins lieu à des comparaisons plus ou moins heureuses et à des métaphores, dont nous citerons, à titre d'exemple, quelques-unes, recueillies au hasard, dans les journaux quotidiens :



« La nouvelle a éclaté dans le silence, mais elle est comme ces explosifs dont on entend à peine la détonation et qui désagrègent une montagne. La roche branle; tout le monde en sent la fragilité et en attend la chute ».

« On s'imaginait qu'une telle mesure était nécessaire et efficace, en oubliant qu'on ne peut pas dompter un torrent dont la violence grandit quand on lui oppose un barrage vermoulu: »

« Le courant de nouvelles se réduit à un mince filet dont l'épaisseur diminuait chaque jour. »

« Les âmes qui sentent avec force ont parfois des antennes pour interroger l'avenir. »

« Quand on vous parle une langue que vous connaissez mal, à peine quelques-uns des sons articulés restent-ils dans votre esprit. On dirait d'un énorme seau d'eau versé d'un coup sur le goulot trop étroit d'une bouteille; quelques gouttes seules entrent à l'intérieur; tout le reste se répand inutilement au dehors. »

« Ces gens reçoivent les impressions fidèles comme les reçoit la plaque photographique; ils diffèrent à cet égard d'une foule de gens dont la conscience est recouverte d'une épaisse couche inerte de préjugés et de traditions. »

« Le langage de la presse est à l'unisson du sentiment populaire, comme la corde de violon vibrant à l'unisson d'une note donnée par un piston du voisinage. »

« Ces indices à peine perceptibles ne parlaient qu'aux esprits d'élite, de même qu'une note ne fait vibrer que des cordes particulières, de même que l'ânesse de Baalam n'était entendue que par le prophète ».

« A plus d'un siècle de distance, l'histoire se renouvelle. L'ébranlement du monde se propage de l'Ouest à l'Est en ondulations lentes, avec une interférence qui

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

laisse encore persister sur les terres de cet Etat une zone d'obscurité. »

« Les montagnes de ce petit pays semblent attirer la guerre comme les pointes attirent la foudre. »

« De jour en jour, sous l'action du ferment économique, la masse inerte de la population prenait vie et conscience. »

« Ces victoires font penser à ces illusions dont Polyeucte dirait qu'ayant l'éclat du verre, elles en ont aussi la fragilité. »

« Le frémissement intérieur de ce puissant Etat, maintenu dans son écorce militaire solide et résistante, la veille de son effondrement désormais certain, n'est que le craquement suprême, symptôme de cet effondrement fatal. Les bûcherons les connaissent bien, ces bruits précurseurs de la chute prochaine de l'arbre qu'ils attaquent. Il semble que le tronc gémissé, pleure et hurle ; tout un travail intérieur et bruyant se produit dans les fibres du bois, et pourtant l'arbre tient toujours, majestueux, en apparence insensible aux coups qu'il reçoit. »

« Son opinion est comme une girouette, variant de bise à vent. »

« Sa puissance a été comme une pierre jetée dans l'eau, formant des cercles qui s'évanouissent à force de vouloir s'élargir. »

« La ruée sauvage, après plusieurs jours d'un déchaînement furibond, semble avoir atteint un palier difficile à dépasser. Tel le flux, quand il est arrivé au bout de course, s'étale entre les rochers qu'il battait naguère et cesse de pousser devant lui les lames de fond. »

« La démagogie a été l'écueil sur lequel sont venues se briser toutes les tentatives démocratiques de ce peuple. »

« Les petits états étaient destinés à graviter dans l'orbite des grandes puissances. »

« On pouvait comparer la situation d'effectifs des deux armées ennemies X et Y à deux réservoirs. Celui de l'armée X ; supérieur en volume à celui de l'armée Y, n'était alimenté après un certain temps que par un ruisseau dont la source tarissait, tandis que de tous côtés des fuites abaissaient son niveau. Celui de l'armée Y, quoique moins grand, recevait des flots abondants sans que les fuites augmentassent en proportion. Le moment était fatalement arrivé où ils s'égalisaient et où la balance commençait à pencher de plus en plus en faveur de l'armée Y. »

« Les débarquements de l'armée continuaient, il est vrai, mais au compte-goutte, alors qu'il aurait fallu un grand jet. »

« Quant à ces hordes sauvages, le reflux les avait emportées, mais le flux les rapporte. Autant se battre contre les vagues de la mer. »

« On devine l'engrenage fatal dans lequel il a dû s'engager. »

« La vie n'est qu'une lutte continuelle de tendances, d'impulsions, de déterminations qui se heurtent, se contrecarrent, s'entredétruisent, ou se mêlent, se fusionnent s'associent, s'ajoutent, se coordonnent entre elles, se répercutent les unes aux autres. »

Dans de telles comparaisons, outre l'intérêt poétique possible et la puissance d'expression, ce qui peut présenter aussi une base réelle et un intérêt positif, c'est l'existence d'un ensemble déterminé de particularités composant le noyau d'analogie du groupe. Quelques vagues et grossières qu'elles puissent paraître, les analogies, exprimées par de telles comparaisons, n'en admettent pas moins un noyau de faits si pauvre soit-il en

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

lui-même, qui transforme immédiatement l'incertain et le vague en certain et précis. Il n'est pas difficile de discerner les noyaux dans les analogies exprimées par les comparaisons qui viennent d'être citées.

II. — INTÉRÊT THÉORIQUE ET PRATIQUE DES ANALOGIES

Intérêt philosophique que présentent les analogies au point de vue de la synthèse des connaissances. — Services rendus par les analogies mathématiques facilitant, comme guides, l'édification de diverses théories de la Physique mathématique — Intérêt pratique des analogies mathématiques facilitant la découverte de faits et de phénomènes nouveaux. — Faits et phénomènes nouveaux prévus par les analogies de M. Lippmann. — Faits et phénomènes nouveaux prévus par les analogies ayant pour noyau diverses sortes de symétrie et de dissymétrie. — Matérialisation de faits analytiques. — Intérêt pratique des analogies qualitatives. — Les analogies ne sont un guide infallible qu'en ce qui se trouve impliqué dans leurs noyaux.

Le grand problème de l'investigation de la Nature se laisse résumer en ces deux questions fondamentales (Stuart Mill):

Quelles sont les suppositions en moindre nombre possible qui, étant admises, auraient pour résultat l'ordre de la Nature tel qu'il existe?

Quelles sont les propositions générales les moins nombreuses possibles dont toutes les uniformités existant dans la Nature pourraient être déduites?

On se rapproche d'un pas de la réponse, du but idéal, asymptotique de la Philosophie Naturelle, par chaque opération du genre suivant qu'on aura réussi à faire : ramener une multitude de phénomènes à un même processus, à un même type de mécanismes, au sens que nous avons en vue dans le présent ouvrage.

L'intérêt considérable que présentent les analogies phénoménologiques à ce point de vue réside justement dans le fait qu'elles font ressortir, par leurs noyaux, des procédés communs suivant lesquels se passent les phénomènes naturels, la manière d'être commune à une foule de phénomènes disparates. On a rencontré, au cours de cet ouvrage, un grand nombre de ces procédés communs ; chaque type de mécanismes, indiqué dans ce qui précède, noyau d'analogie d'un groupe plus ou moins vaste de phénomènes, en fournit un. Parmi ceux-ci se rencontrent parfois de ces grands procédés universels de la Nature qui sont la base et l'essence de classes entières de phénomènes de toutes espèces et de toutes natures concrètes, et dont la connaissance fournit d'un coup l'explication de phénomènes les plus disparates, en les rapprochant les uns des autres, en les unissant dans un même type.

Indépendamment de cet intérêt général que présentent les analogies au point de vue du grand problème de la synthèse des connaissances, les considérations d'analogies ont déjà rendu des services inappréciables à la science.

D'abord, pour le type le plus parfait des analogies, celui des analogies mathématiques, elles ont rendu d'immenses services en tant que guides, en facilitant les édifications de théories formant les différentes branches de la physique mathématique. Ohm, Lamé, Chasles, Sir W. Thomson, Helmholtz, Kirchhoff, etc., ont souvent recouru aux analogies dans leurs recherches sur l'élasticité, l'attraction, la propagation de la chaleur et de l'électricité. C'est par les considérations d'analogies que Ohm a édifié sa belle théorie de la propagation de l'électricité, en y transportant le mode de raisonnement par lequel Fourier avait déjà édifié la théorie de la propagation de

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

la chaleur. Maxwell s'en est très fréquemment servi dans ses recherches : c'est ainsi qu'en comparant les phénomènes électromagnétiques à une certaine espèce de mouvement tourbillonnaire des liquides, il a trouvé les équations fondamentales de l'électromagnétisme auxquelles son nom est demeuré attaché. L'analogie des lois des gaz parfaits avec celles de la pression osmotique a été également un guide pour les physiciens qui ont établi la théorie de la pression osmotique. Les modèles mécaniques ont souvent guidé dans les investigations, en suggérant même, parfois, des découvertes. Tel a été, par exemple, le cas du modèle électro-optique amenant M. Zeemann à reconnaître l'action d'un champ magnétique sur les raies du spectre.

On peut citer de nombreux exemples où les analogies mathématiques, par des interprétations concrètes convenables des faits analytiques contenus dans leurs noyaux, ont fourni un instrument puissant pour la découverte de faits et de phénomènes concrets nouveaux qui, sans l'aide de cet instrument, auraient pu passer inaperçus ou du moins dont la constatation aurait été laissée au hasard. Tel est, par exemple, le cas de nombreuses analogies rattachées au principe de la conservation de l'énergie, au principe de Carnot et à leurs conséquences analytiques dans les divers domaines de phénomènes. Ainsi, les analogies de M. Lippmann existant entre les phénomènes thermodynamiques et électriques et dans lesquelles le principe de la conservation de l'électricité joue dans les phénomènes électriques le même rôle que le principe de Carnot dans les phénomènes thermiques (les éléments homologues en sont indiqués à la page 204), conduisent, pour les phénomènes électriques, à des relations analytiques analogues à celles de la Thermodynamique. Ces relations, convenablement interprétées, ont non seulement conduit

à des faits concrets nouveaux, mais ont aussi mis en évidence des classes nouvelles de phénomènes physiques. Nous citerons à titre d'exemples, les faits et les phénomènes suivants :

1° Les changements de capacité des condensateurs électriques dont les armatures sont séparées par une couche gazeuse, lorsqu'on change la pression du gaz ; la capacité se trouve être proportionnelle à la pression (fait vérifié par les expériences de Boltzmann) ; à pression constante, le volume du gaz diminue en raison directe de la différence de potentiel des deux armatures (fait vérifié par les expériences de [Quincke) ;

2° Les modifications électriques dans les cristaux comprimés ; le cristal comprimé dans la direction d'un des axes devient le siège d'une polarisation électrique de même sens que celle à laquelle donne naissance l'augmentation de la température : elle est proportionnelle à la grandeur de compression et disparaît avec celle-ci. Inversement, un cristal électrisé s'allonge comme par l'action de la chaleur et l'allongement est proportionnel à la grandeur de son potentiel électrique (faits vérifiés par P. et J. Curie sur la tourmaline, le quartz et la topaze) ;

3° La dilatation des armatures des condensateurs électriques lorsqu'on charge ceux-ci d'électricité, et la contraction lors de la décharge ; la dilatation linéaire est proportionnelle au carré de la différence de potentiel des deux armatures (fait vérifié par les expériences de Covi et Duter) ;

4° Les phénomènes électro-capillaires, prévus et constatés par M. Lippmann comme conséquence des analogies ci-dessus indiquées : l'effet de capillarité entre le mercure et l'eau acidulé varie en fonction de la différence de potentiel des deux liquides, et inversement, la

ANALOGIES PHÉNOMÉNOLOGIQUES

grandeur de la différence de potentiel change lorsqu'on change, d'une manière quelconque, par l'action des forces extérieures, on change la surface de contact des deux liquides.

Rappelons encore, dans le même ordre d'idées, les services de même genre que peuvent rendre les analogies ayant pour noyau diverses sortes de *symétrie* et de *dissymétrie*. La notion de symétrie est susceptible d'être généralisée de diverses manières et étendue à des classes très vastes de phénomènes qui formeraient ainsi un groupe d'analogies important. Les relations entre la symétrie des causes et celle de leurs effets formeraient un chapitre intéressant de la théorie générale des mécanismes des phénomènes. L'extension, par exemple, de la théorie de la symétrie des corps cristallisés à des phénomènes physiques de natures diverses, telle qu'elle a été faite par P. Curie et Voigt, montre déjà l'efficacité de cette espèce de généralisation pour la prévision de la possibilité de certains genres de phénomènes ou de leur impossibilité. Ainsi, pour que la réalisation de certain phénomène soit possible, il faut que le système où il se manifeste présente une certaine dissymétrie caractéristique pour ce phénomène : celui-ci est impossible si une telle dissymétrie n'existe pas. D'autre part, deux phénomènes de même dissymétrie ont entre eux des liens particuliers. Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits. Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, celle-ci doit se retrouver dans les causes qui leur ont donné naissance.

P. Curie a montré le parti qu'on peut tirer des considérations de cette espèce pour prévoir la possibilité d'un grand nombre de phénomènes électriques, magnétiques, thermiques, etc.

paraisons, assimilations, allégories. — Rôles simples et rôles composés	55
III. MÉCANISMES. — Explications et mécanisme d'un phénomène. — Exemples simples de mécanismes. — Etapes successives dans la connaissance des mécanismes. — Ressemblance de mécanismes et leurs éléments homologues. — Exemples simples de ressemblance. — Ressemblance quantitative et ressemblance qualitative de mécanismes.....	75
IV. TYPES DE MÉCANISMES. — Type déterminé de mécanismes. — Exemples simples de types de mécanismes.	85

CHAPITRE III. — **Lien entre les particularités d'allure et de mécanisme.**

I. GÉNÉRALITÉS. — Effet direct et indirect de causes. — Totalité de l'effet. — Influences ou perturbations dues aux causes indirectes. — Impulsion d'une cause instantanée. — Un type déterminé de mécanisme implique un certain nombre de particularités d'allure. — Problème fondamental de la Phénoménologie Générale.....	92
II. QUELQUES SCÉMAS DE LIEN ENTRE LES PARTICULARITÉS D'ALLURE ET DE MÉCANISMES. — <i>Premier schéma</i> : phénomènes à un élément descriptif dus à l'action directe d'une cause impulsive ou dépressive sensiblement invariable	96
<i>Deuxième schéma</i> : phénomènes à un élément descriptif dus à l'action d'une cause variable à variations indépendantes	96
<i>Troisième schéma</i> : phénomènes à un élément dus à une cause dépressive qui se dépense, en agissant, en raison directe de l'effet produit.....	96
<i>Quatrième schéma</i> : phénomènes à un élément dus à une cause variable, variant en raison directe de la totalité de l'effet produit.....	97

TABLE DES MATIÈRES

<p><i>Cinquième schéma</i> : phénomènes à un élément dûs à l'action de deux causes antagonistes, l'une impulsive d'intensité invariable, l'autre dépressive à retard constant et d'intensité variant en raison directe de l'effet produit, mais correspondant à un instant antérieur</p>	97
<p><i>Sixième schéma</i> : phénomènes à un élément dûs à l'action simultanée de deux causes variables, variant l'une en raison directe de l'effet produit, l'autre en raison directe de la totalité de cet effet.</p>	97
<p><i>Septième schéma</i> : phénomènes à un élément dûs à l'action superposée de deux causes prévues par le schéma précédent et d'une nouvelle cause périodique</p>	98
<p><i>Huitième schéma</i> : phénomènes à n éléments descriptifs dûs à un assemblage de n causes variables impulsives dont chacune aurait pour objet direct un élément du système, avec $n-1$ liaisons fixes entre ces éléments leur imposant la simultanéité de croissance</p>	99
<p><i>Neuvième schéma</i> : perturbations introduites par un assemblage de causes directes périodiques faibles dans un phénomène déjà existant et qui consiste en faibles oscillations périodiques autour d'un état d'épuisement stable</p>	99
<p><i>Dixième schéma</i> : mécanismes intermédiaires entre deux mécanismes limites</p>	100
<p><i>Onzième schéma</i> : influence des causes indirectes imprimant le renforcement ou l'affaiblissement aux causes directes d'un phénomène déjà existant.</p>	102
<p><i>Douzième schéma</i> : influence des causes indirectes faisant changer l'inertie spécifique du phénomène.</p>	104
<p><i>Treizième schéma</i> : influence exercée sur la marche d'un phénomène oscillatoire par une cause dépressive, directe ou indirecte, grandissant ou s'affaiblissant en même temps que l'élément descriptif du phénomène</p>	105

<i>Quatorzième schéma</i> : perturbations introduites au cours d'un phénomène déjà existant par l'intervention de causes instantanées ou intermittentes.	106
<i>Quinzième schéma</i> : phénomènes à deux éléments indépendants, variant simultanément sous l'action de deux causes, l'une affectée d'une tendance à faire varier à la fois tous les deux éléments dans le même sens dans lequel elle varie elle-même, l'autre ayant une tendance à faire varier l'un des deux éléments dans son propre sens de variation, et l'autre élément dans le sens contraire.....	106
III. ALLURE DU PHÉNOMÈNE COMME L'INDICE DE SON MÉCANISME. — Réciprocité incertaine entre le mécanisme et les particularités d'allure. — Des indications supplémentaires peuvent la rendre certaine. — Divers types de mécanismes fournissent autant d'hypothèses pour l'explication de l'allure d'un phénomène. — Certaines particularités d'allure suggèrent certains types de mécanismes. — Mécanismes suggérés par la comparaison de diagrammes d'allures	108

**CHAPITRE IV. — Répartition de rôles
et la manifestation extérieure
de particularités d'allures
dans les phénomènes naturels.**

I. RÉPARTITION DES RÔLES. — Formes variées sous lesquelles apparaissent extérieurement les divers types de rôles. — Type de rôle particulièrement important : cause à loi quantitative connue ; détermination effective de la loi de cause pour diverses causes intervenant dans les phénomènes naturels. — Autre type de rôle important : cause à particularités qualitatives de variations connues ; diverses particularités d'ordre qualitatif rattachées à la loi de cause. — On peut connaître de telles particularités dans les phénomènes de toutes espèces et de toutes natures concrètes.....	117
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

TABLE DES MATIÈRES

II. MANIFESTATION EXTÉRIEURE DES PARTICULARITÉS D'ALLURES. — Formes variées sous lesquelles apparaissent extérieurement diverses particularités d'allure d'un élément. — Formes extérieures disparates de l'allure collective provenant de la simultanéité des changements individuels des éléments. — Diverses manières suivant lesquelles les particularités d'allure, individuelles et collectives, sont observables.....	136
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CHAPITRE V. — Formes spécifiques de mécanismes et de particularités d'allure dans quelques espèces de phénomènes concrets.

I. — Mécanisme des divers phénomènes électriques ..	143
II. — Mécanisme de l'action photochimique de la lumière sur la couche sensible.....	146
III. — Mécanisme de la formation et de la coagulation des colloïdes.....	147
IV. — Mécanisme des réactions chimiques normales homogènes.....	149
V. — Effet de transposition des éléments sur les propriétés de composés chimiques isomères.....	151
VI. — Mécanisme des ondulations d'excitabilité des diverses parties de l'organisme	155
VII. — Action d'une cause secondaire sur le cours d'une maladie	161
VIII. — Mécanisme des variations de la pression et de la vitesse dans la circulation du sang.....	164
IX. — Influence des obstacles sur l'allure de la respiration.	167
X. — Mécanisme des variations périodiques de l'intensité du parfum des fleurs	168
XI. — Mécanisme de la périodicité vitale de certains organismes marins.....	169
XII. — Mécanisme des retours périodiques des crises agricoles	172

XIII. — Mécanisme de multiplication rythmique des espèces organiques	173
XIV. — Mécanisme des oscillations des phénomènes économiques	176
XV. — Mécanisme des processus normaux et pathologiques de production des actes volontaires.....	182
XVI. — Mécanisme général de synchronisation des phénomènes oscillants amortis dûs à des causes périodiques.....	192
XVII. — Mécanisme de renforcement des phénomènes périodiques peu intenses par des faibles causes périodiques.....	196

CHAPITRE VI. — Analogies
phénoménologiques.

I. ANALOGIES ET LEURS NOYAUX. — Noyau d'analogie d'un groupé de phénomènes. — Il transforme les ressemblances en égalités. — Analogies quantitatives ou qualitatives suivant le contenu du noyau	199
A) <i>Analogies quantitatives.</i> — Analogies mathématiques. — Eléments homologues d'un groupe d'analogie mathématique. — Quelques groupes d'analogie mathématique et leurs éléments homologues : Analogie des phénomènes exponentiels.....	200
Analogie des phénomènes électriques avec celui de mouvement d'un volant muni d'ailettes dans un milieu résistant	201
Analogie des phénomènes oscillants amortis	202
Analogie des phénomènes de l'équilibre électrique, de la propagation de la chaleur dans un milieu homogène et de ceux du mouvement irrotationnel des liquides incompressibles sans frottement.....	204
Analogies électriques et thermodynamiques de M. LIPPMANN	204
Analogies des phénomènes économiques et des phénomènes thermiques	205

TABLE DES MATIÈRES

Diverses autres analogies mathématiques. — Modèles mécaniques pour l'illustration des phénomènes physiques	206
Analogies mathématiques partielles.....	207
B) <i>Analogies qualitatives.</i> — Quelques groupes d'analogies qualitatives entre les phénomènes disparates : . . .	207
Analogie hydraulique de la pile électrique.....	208
Analogies de phénomènes hydrauliques, thermiques et électriques, auxquels donne naissance la différence de niveau hydraulique, thermique ou électrique ...	209
Analogie de phénomènes hydrauliques et des phéno- mènes électriques de self-induction	211
Analogie des phénomènes de corps vibrants et des phénomènes électriques et magnétiques	212
Analogie des phénomènes d'aimantation et des phéno- mènes élastiques.....	218
Analogie des phénomènes d'excitation des substances inorganiques et de la matière vivante.....	222
Analogie des phénomènes disparates de résonances..	226
Analogie des phénomènes disparates régis par la loi généralisée de GIBBS et LE CHATELIER.....	231
Analogie des phénomènes disparates consistant dans l'évolution progressive d'un système vers un état final, effectuée par le renforcement itératif de la proportion d'un élément du système, par rapport à tous les autres	233
Analogie des phénomènes disparates consistant dans la dissociation d'un complexus par un même pro- cessus dans lequel les différents composants du complexus se comportent de manières qualitative- ment les mêmes, mais quantitativement différentes..	237
Analogie des phénomènes de crises économiques et des maladies.....	241
Analogie du phénomène de production des actes vo- lontaires et des péripéties du combat de deux armées opposées.....	242

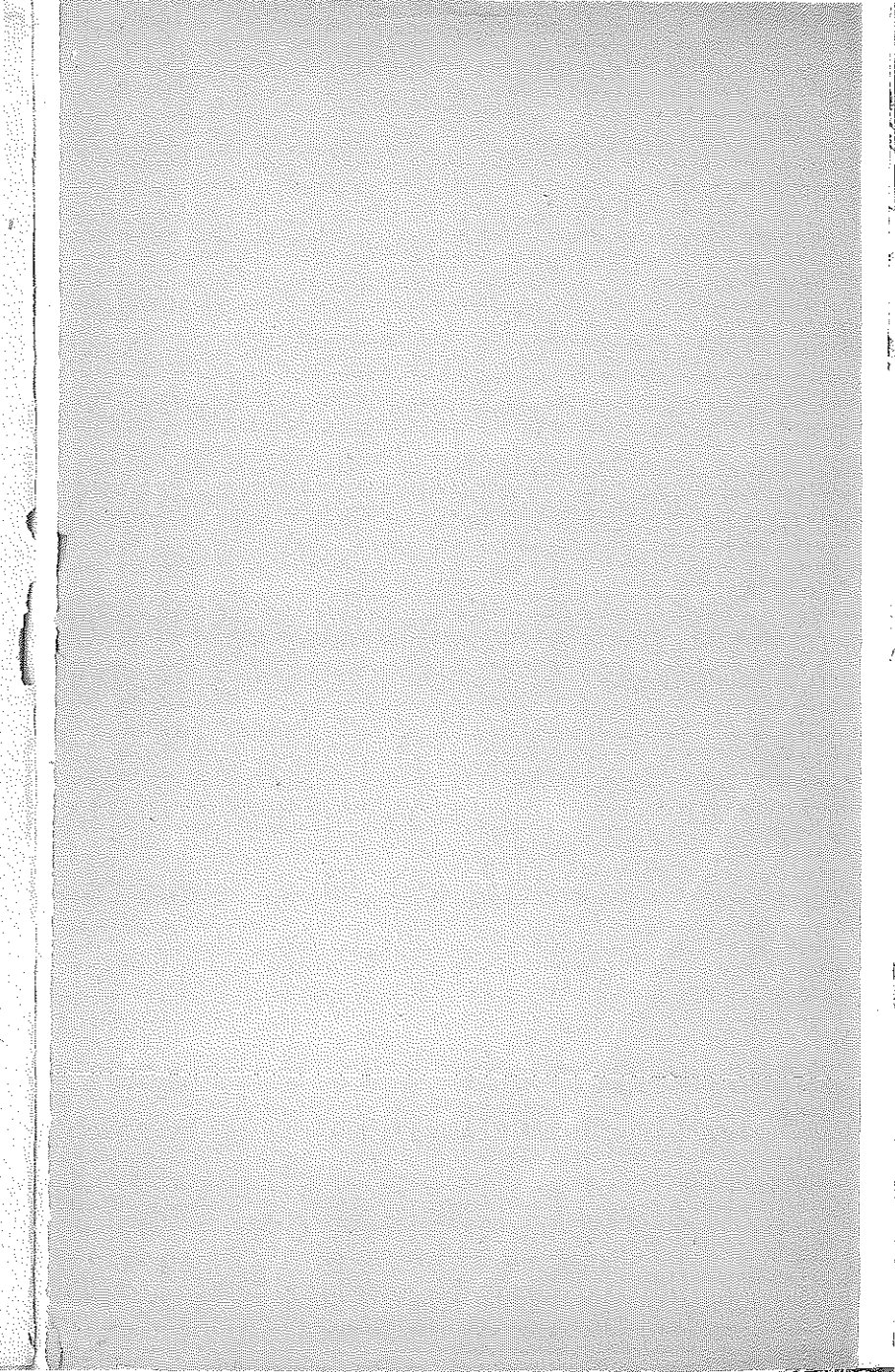
TABLE DES MATIÈRES

Analogie de nombreux phénomènes disparates et des luttes.....	247
Analogies qualitatives partielles des phénomènes disparates exprimées par diverses comparaisons, assimilations et métaphores	248
II. INTÉRÊT THÉORIQUE ET PRATIQUE DES ANALOGIES. —	
Intérêt philosophique que présentent les analogies au point de vue de la synthèse des connaissances. — Services rendus par les analogies mathématiques facilitant, comme guides, l'édification de divers théories de la Physique mathématique. — Intérêt pratique des analogies mathématiques facilitant la découverte de faits et de phénomènes nouveaux. — Faits et phénomènes nouveaux prévus par les analogies de M. LIPPMANN. — Faits et phénomènes nouveaux prévus par les analogies ayant pour noyau diverses sortes de symétrie et de dissymétrie. — Matérialisation de faits analytiques. — Intérêt pratique des analogies qualitatives. — Les analogies ne sont un guide infallible qu'en ce qui se trouve impliqué dans leurs noyaux	252
CONCLUSION.....	263
TABLE DES MATIÈRES.....	271



maires 1755

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE.



NOUVELLE COLLECTION SCIENTIFIQUE

Directeur : EMILE BOREL

VOLUMES EN-16 DE PRIX DIVERS.

- De la Méthode dans les Sciences : (1^{re} série), par P.-F. THOMAS, EMILE PICARD, J. TANNERY, P. PAINLEVÉ, BOUASSE, JOB, A. GIARD, LE DANTEC, PIERRE DELBET, TH. RIBOT, DURKHEIM, LÉVY-BRUHL, G. MONOD. 11^e mille.
- De la Méthode dans les Sciences : (2^e série), par E. BOREL, B. BAILLAUD, JEAN PERRIN, LÉON BERTRAND, H. ZEILLER, LOUIS BLARINGHEM, SALOMON REINACH, GUSTAVE LANSON, LUCIER MARCH, A. MEILLET. 4^e mille.
- Éléments de Philosophie biologique, par F. LE DANTEC, chargé du cours de biologie générale à la Sorbonne. 4^e édition.
- La Voix. *Sa culture physiologique. Théorie nouvelle de la phonation*, par le Dr P. BONNIER, laryngologiste de la clinique médicale de l'Hôtel-Dieu. 4^e éd. Illustr.
- Science et Philosophie, par J. TANNERY, de l'Inst., avec une notice par E. BOREL. 3^e éd.
- Le Transformisme et l'Expérience, par E. RABAUD, maître de conférences à la Sorbonne. Avec gravures. 3^e édition.
- L'Artillerie de Campagne. *Son histoire, son évolution, son état actuel*, par le Général E. BUAT, Avec 75 gravures. 3^e éd.
- L'Évolution des Théories géologiques, par STANISLAS MEDNIER, professeur de géologie au Muséum d'histoire naturelle. Avec gravures. 3^e édition.
- La Race slave. *Statistique, démographie, anthropologie*, par L. NIEDERLE, professeur à l'Université de Prague. Traduit du tchèque par L. LEGER, de l'Institut. 2^e éd.
- L'Aviation, par PAUL PAINLEVÉ, de l'Institut, EMILE BOREL et CH. MAUBAIN. 8^e édition revue et augmentée. Avec gravures.
- L'Évolution de l'Electrochimie, par W. OSTWALD, professeur à l'Université de Leipzig. Traduit de l'allemand par E. Philipp, licencié ès sciences. 3^e édition.
- L'Éducation dans la Famille. *Les péchés des parents. Nos fils*, par P.-F. THOMAS, professeur honoraire au lycée de Versailles. 5^e mille. (Couronné par l'Institut.)
- L'Éducation dans la Famille. *Les péchés des parents. Nos filles*, par LE MÊME.
- La Crise du transformisme, par F. LE DANTEC. 2^e édition.
- L'Énergie, par W. OSTWALD, professeur à l'Université de Leipzig, traduit de l'allemand par E. Philipp, licencié ès sciences. 4^e édition.
- Les États physiques de la Matière, par CH. MAUBAIN. 4^e mille.
- Le Chimie de la Matière vivante, par JACQUES DOCLAUX, préparateur à l'Institut Pasteur. 4^e mille.
- L'Évolution des Plantes, par NOËL BERNARD, professeur à l'Université de Poitiers. Préface de M. COSTANTIN, de l'Institut (avec figures).
- Le Combat, par le général PERCIN. 3^e édition.
- Le Hasard, par EM. BOREL. 5^e mille.
- Henri Poincaré, l'œuvre scientifique, l'œuvre philosophique, par V. VOLTERRA, J. HABAMARD, P. LANGEVIN, P. BOUTROUX. 3^e édition.
- Le Froid industriel, par L. MARCHIS, professeur à la Faculté des sciences de Paris (avec 404 figures). 3^e édition.
- Le Système du Monde, *des Chaldéens à Newton*, par J. SAGERET. 3^e édition.
- La Question de la Population, par P. LEROY-BEAULIEU, membre de l'Institut, professeur au Collège de France. (Récompensé par l'Institut.) 3^e édition.
- Les Atomes, par JEAN PERRIN, professeur de chimie physique à la Sorbonne (avec gravures). 10^e mille. (Couronné par l'Académie des Sciences.)
- Le Maroc physique, par L. GENTIL, prof. adjoint à la Sorbonne, directeur de l'Institut de recherches scientifiques de Rabat (avec cartes). 3^e édition.
- La Conception mécanique de la Vie, par J. LOEB, professeur à l'Université de Berkeley. Traduit de l'anglais par H. MOUTON (avec 58 figures). 3^e édition.
- Troubles mentaux et Troubles nerveux de Guerre, par le Dr GEORGES DUMAS, prof. à la Sorbonne.
- Essais sur la Chirurgie moderne, par JEAN FIOLE, professeur à l'École de médecine de Marseille, chirurgien des hôpitaux.
- Le Radium. *Interprétation et Enseignement de la Radioactivité*, par F. SODDY, professeur à l'Université d'Aberdeen. Traduction LÉPAGE, avec figures.
- L'Unité de la Science, par M. LECLERC DU SABLON, professeur de la Faculté des Sciences de Toulouse. Avec figures.
- La Molécule chimique, par R. LESPIEAU, professeur adjoint à la Sorbonne. Avec fig.
- L'Idéal scientifique des Mathématiciens, par PIERRE BOUTROUX, prof. au Collège de France.
- Le Destin des Étoiles. *Études d'Astronomie physique*, par SCANTE ARRBÉNICUS, directeur de l'Institut Nobel. Traduit par M. SEYDIZ.
- Mécanismes communs aux Phénomènes disparates, par MICHEL PÉTROVITCH.
- Principes de Biologie végétale, par NOËL BERNARD, professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers. Avec 18 figures.